



TESIS - SF142502

**DESAIN ANTENA MIKROSTRIP 2.4 GHz
UNTUK APLIKASI SISTEM MIMO
(*MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT*)**

Jeffri Parrangan
NRP. 1113201050

Dosen Pembimbing
Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN OPTOELEKTRONIK DAN ELEKTROMAGNETIKA TERAPAN
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



THESIS - SF142502

DESIGN MICROSTRIP ANTENNA 2.4 GHz FOR MIMO SYSTEM APPLICATIONS (MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT)

Jeffri Parrangan
NRP. 1113201050

Supervisor
Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.

MAGISTER PROGRAM
STUDY ON OPTOELECTRONIC AND APPLIED ELECTROMAGNETIC
DEPARTEMENT OF PHYSICS
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2016

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sains (M.Si)
di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Jeffri Parrangan
NRP. 1113201050

Tanggal Ujian : 12 Januari 2016
Periode Wisuda : Maret 2016

Disetujui oleh:

1. Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.
NIP. 19690904 199203 1 003

(Pembimbing)

2. Prof. Mahmud Zaki, M.Sc.
NIP.

(Penguji)

3. Dr. Melania Suweni Muntini, M.T.
NIP. 19641229 199002 2 001

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana



Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D
NIP. 19601202 198701 1 001

DESAIN ANTENA MICROSTRIP 2.4 GHz UNTUK APLIKASI SISTEM MIMO (MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT)

Nama Mahasiswa : Jeffri Parrangan
NRP : 1113201050
Pembimbing : Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.

ABSTRAK

Telah dirancang dan dibuat antena mikrostrip 2,4 GHz untuk sistem MIMO. Pengembangan antena *patch* tunggal dilakukan menjadi model gabungan, yaitu antena *patch* ganda yang terdiri dari dua slot pada bidang ground. Dengan penggabungan antena *patch* tunggal ini meningkatkan *return loss* dari satu input port karena efek mutual kopling.

Kata kunci: mikrostrip, sistem MIMO, *return loss*, mutual kopling.

**DESIGN MICROSTRIP ANTENNA 2.4 GHz FOR MIMO
SYSTEM APPLICATION
(MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT)**

Name : Jeffri Parrangan
NRP : 1113201050
Supervisor : Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.

ABSTRACT


Microstrip antenna has been designed and fabricated for 2.4 GHz of MIMO systems. We develop a single patch antenna to be a merger model, that is a double patch antenna consisting of two slots in the ground plane. By merger patch antenna increased the return loss from one input port because of mutual coupling effect.

Key words: microstrip, MIMO systems, return loss, mutual coupling.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Bapa di dalam nama Yesus Kristus yang telah memberikan ANUGERAH yang melimpah kepada penulis, sehingga penulis mampu menyelesaikan tesis yang berjudul “**DESAIN ANTENA MICROSTRIP 2.4 GHz UNTUK APLIKASI SISTEM MIMO (MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT)**” guna memenuhi syarat mata kuliah TESIS (SF 142502) di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Selama proses persiapan, pengerjaan dan penyusunan tesis ini banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis. Maka dengan segenap kerendahan dan ketulusan hati penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua Marthen Parrangan dan Martina Tappi yang telah mendukung dan memberikan semangat, kasih sayang serta doa yang tiada hentinya kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan proses studi dan tesis ini.
2. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng selaku dosen pembimbing serta dosen wali dari program studi Optik dan Medan Elektromagnetik Terapan, Jurusan Fisika FMIPA ITS yang selalu memberikan kesempatan, ilmu, motivasi dan nasehat kepada penulis.
3. Prof. Mahmud Zaki, M.Sc dan ibu Dr. Melania Suweni Muntini, M.T selaku dosen penguji yang memberikan waktu dan arahan atas kemajuan tesis ini.
4. PPET LIPI yang memberikan waktu untuk melakukan pengujian dengan arahan yang baik dan berguna kepada penulis.
5. Seluruh staf pengajaran Jurusan Fisika FMIPA, ITS atas ilmu pengetahuan yang diajarkan kepada penulis selama studi.
6. Seluruh “Penghuni” Lab. Optoelektronik dan Elektromagnetik Terapan atas rasa kekeluargaannya selama ini.
7. MaMen yang di Bandung terima kasih sudah menjadi PARTNER yang terbaik dan selalu menjadi penyemangat yang hebat.

- 
8. Mas Hendra, Mbak Vira, Mbak Erna yang banyak membantu dalam proses belajar serta diskusi-diskusi yang memberikan banyak masukan dalam menyelesaikan tesis.
 9. Keluarga besar PraS2 dari penjuru Indonesia yang telah menjadi teman dan saudara seperjuangan di kampus ITS ini.
 10. Pace Tobi, Pace Burhan, Mace Lina, Mace Bela sebagai keluarga besar Fisika UNIPA yang bersama-sama berjuang di kampus ITS ini.
 11. Anak-anak Kos W.5 Pace Ipul, Pace Rahmat, Pace Risal, Pace Riki yang selalu kompak selalu.
 12. Teman-teman Badminton MIPA yang menemani dan menjadi teman sparing yang baik.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan tesis ini. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun akan sangat diharapkan untuk perbaikan selanjutnya. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat untuk para pembacanya. Amin.

Surabaya, 26 Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
---------------------	---

LEMBAR PENGESAHAN	ii
-------------------------	----

ABSTRAK	iii
---------------	-----

ABSTRACT	iv
----------------	----

KATA PENGANTAR	v
----------------------	---

DAFTAR ISI	vii
------------------	-----

DAFTAR GAMBAR	ix
---------------------	----

DAFTAR TABEL	xi
--------------------	----

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
--------------------------	---

1.2 Rumusan Masalah	1
---------------------------	---

1.3 Tujuan Penelitian	2
-----------------------------	---

1.4 Manfaat Penelitian	2
------------------------------	---

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA

2.1 Prinsip Dasar Antena	3
--------------------------------	---

2.2 Element Peradiasi Segi Empat	3
--	---

2.3 Teknik Pencatu Microstrip	5
-------------------------------------	---

2.4 Parameter Antena	6
----------------------------	---

2.4.1 VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)	6
--	---

2.4.2 Return Loss	6
-------------------------	---

2.4.3 Bandwidth	7
-----------------------	---

2.5 Antena MIMO	7
-----------------------	---

2.6 Sistem MIMO	8
-----------------------	---

2.7 Scattering Parameter	10
--------------------------------	----

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Prosedur Penelitian	13
-------------------------------	----

3.2	Pemilihan Antena.....	14
3.3	Desain dan Simulasi Antena Microstrip	14
3.4	Modifikasi Peningkatan Performa	15
3.5	Penggabungan Antena	15
3.6	Fabrikasi Antena.....	15
3.7	Pengukuran Antena.....	15
3.8	Analisis Antena Hasil Simulasi dan Hasil Pengukuran.....	17

BAB 4 ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Simulasi Perancangan Antena Segi Empat.....	19
4.2	Simulasi Perancangan Antena Segi Empat dengan Slot pada Bidang Ground	21
4.3	Penggabungan Antena	24
4.4	Pengukuran Antena MIMO	25
4.5	Analisa Pengukuran Antena Tunggal dan Antena MIMO	27

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	35
5.2	Saran	35

DAFTAR PUSTAKA	37
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN	39
-----------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Dimensi peradiasi segi empat.....	4
Gambar 2.2	Dimensi saluran pencatu.....	5
Gambar 2.3	Bandwidth antena.....	7
Gambar 2.4	Propagasi gelombang EM dengan letak objek secara acak antara pemancar dan penerima.....	8
Gambar 2.5	Sistem MIMO $m \times n$	9
Gambar 2.6	Sistem antena 2 port.....	11
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	13
Gambar 3.2	Antena microstrip segi empat.....	14
Gambar 3.3	Pemasangan antena pada port Network Analyser.....	16
Gambar 3.4	Seting alat pengukuran pola radiasi.....	16
Gambar 3.5	Pengukuran pola radiasi arah horisontal.....	17
Gambar 3.6	Pengukuran pola radiasi arah vertikal.....	17
Gambar 4.1	Dimensi antena segi empat.....	19
Gambar 4.2	Return loss hasil simulasi antena awal.....	20
Gambar 4.3	Impedansi hasil simulasi antena awal.....	20
Gambar 4.4	Dimensi antena dengan slot.....	21
Gambar 4.5	Return loss simulasi antena dengan slot 1.....	22
Gambar 4.6	Impedansi Hasil Simulasi antena dengan slot 1.....	22
Gambar 4.7	Return loss simulasi antena dengan slot 1 dan slot 2.....	23
Gambar 4.8	Impedansi Hasil Simulasi antena dengan slot 1 dan 2.....	23
Gambar 4.9	Penggabungan dua antena tunggal.....	24
Gambar 4.10	Simulasi antena MIMO S11.....	25
Gambar 4.11	Simulasi antena MIMO S21.....	25
Gambar 4.12	Pengukuran return loss (S11) antena MIMO.....	26
Gambar 4.13	Pengukuran return loss (S21) antena MIMO.....	27
Gambar 4.14	Perbandingan return loss antena tunggal.....	28
Gambar 4.15	Return loss S11 dan S21 antena MIMO.....	30
Gambar 4.16	Pola radiasi simulasi bidang H antena tunggal dan MIMO.....	31

Gambar 4.17	Pola radiasi simulasi dan pengukuran antenna MIMO bidang H	31
Gambar 4.18	Pola radiasi simulasi bidang E antenna tunggal dan MIMO	32
Gambar 4.19	Pola radiasi simulasi dan pengukuran antenna MIMO bidang E	32

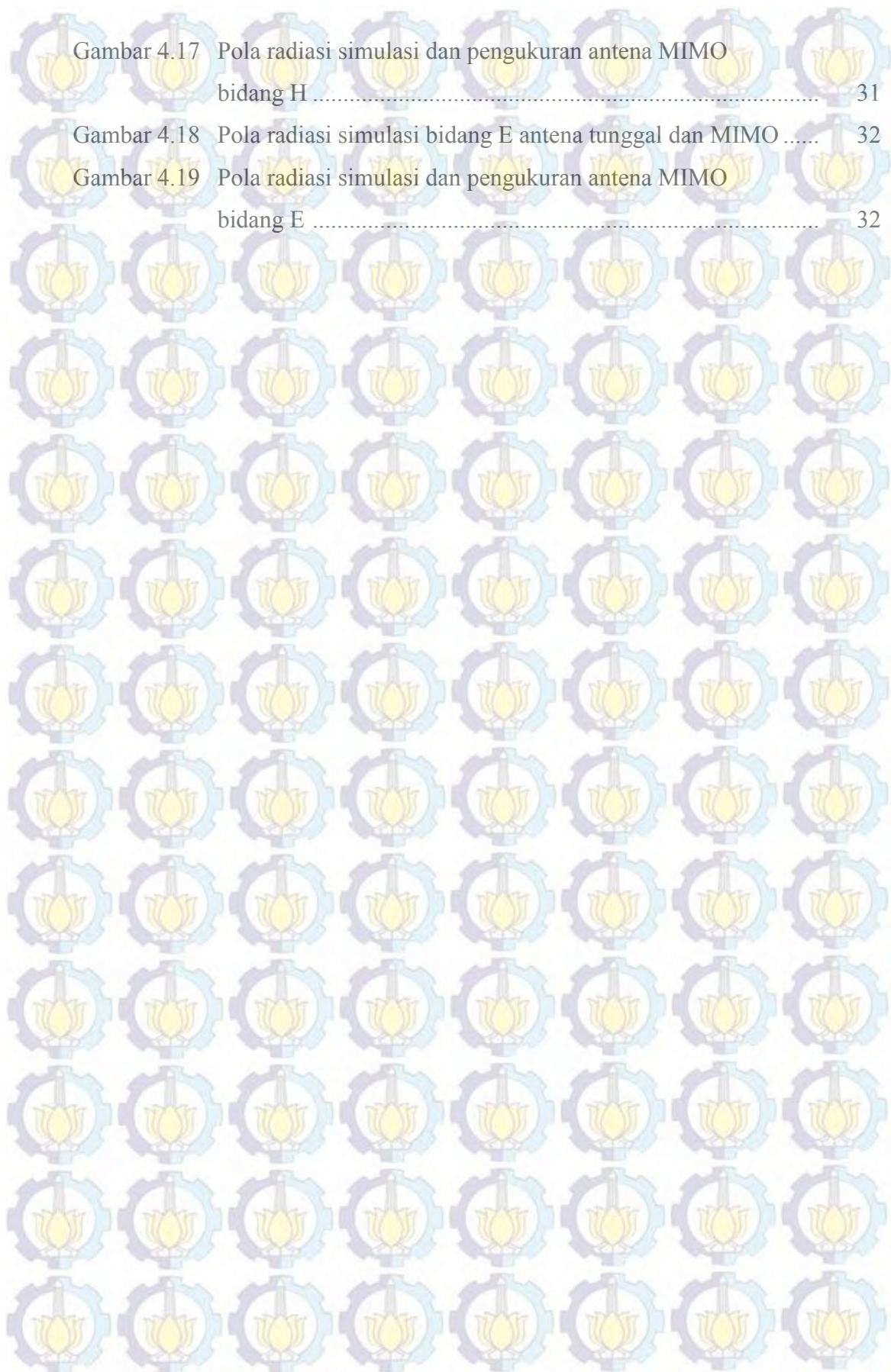


DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Parameter antenna segi empat.....	19
Tabel 4.2	Parameter antenna segi empat dengan slot.....	21

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Dimensi peradiasi segi empat.....	4
Gambar 2.2	Dimensi saluran pencatu.....	5
Gambar 2.3	Bandwidth antena.....	7
Gambar 2.4	Propagasi gelombang EM dengan letak objek secara acak antara pemancar dan penerima.....	8
Gambar 2.5	Sistem MIMO $m \times n$	9
Gambar 2.6	Sistem antena 2 port.....	11
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	13
Gambar 3.2	Antena microstrip segi empat.....	14
Gambar 3.3	Pemasangan antena pada port Network Analyser.....	16
Gambar 3.4	Seting alat pengukuran pola radiasi.....	16
Gambar 3.5	Pengukuran pola radiasi arah horisontal.....	17
Gambar 3.6	Pengukuran pola radiasi arah vertikal.....	17
Gambar 4.1	Dimensi antena segi empat.....	19
Gambar 4.2	Return loss hasil simulasi antena awal.....	20
Gambar 4.3	Impedansi hasil simulasi antena awal.....	20
Gambar 4.4	Dimensi antena dengan slot.....	21
Gambar 4.5	Return loss simulasi antena dengan slot 1.....	22
Gambar 4.6	Impedansi Hasil Simulasi antena dengan slot 1.....	22
Gambar 4.7	Return loss simulasi antena dengan slot 1 dan slot 2.....	23
Gambar 4.8	Impedansi Hasil Simulasi antena dengan slot 1 dan 2.....	23
Gambar 4.9	Penggabungan dua antena tunggal.....	24
Gambar 4.10	Simulasi antena MIMO S11.....	25
Gambar 4.11	Simulasi antena MIMO S21.....	25
Gambar 4.12	Pengukuran return loss (S11) antena MIMO.....	26
Gambar 4.13	Pengukuran return loss (S21) antena MIMO.....	27
Gambar 4.14	Perbandingan return loss antena tunggal.....	28
Gambar 4.15	Return loss S11 dan S21 antena MIMO.....	30
Gambar 4.16	Pola radiasi simulasi bidang H antena tunggal dan MIMO.....	31



Gambar 4.17 Pola radiasi simulasi dan pengukuran antenna MIMO bidang H	31
Gambar 4.18 Pola radiasi simulasi bidang E antenna tunggal dan MIMO	32
Gambar 4.19 Pola radiasi simulasi dan pengukuran antenna MIMO bidang E	32

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan informasi yang cepat sangat diperlukan oleh masyarakat di masa ini, dimana untuk akses informasi yang cepat ini memerlukan suatu teknologi yang canggih dalam sistem komunikasi. Salah satu bagian yang penting dari sistem komunikasi ini adalah di bidang antena. Antena mikrostrip adalah salah satu jenis antena yang banyak diteliti saat ini, hal ini dikarenakan bahan yang digunakan murah dan mudah didapat serta proses pembuatannya yang mudah. Antena mikrostrip ini terdiri dari tiga bagian yaitu *patch* (element peradiasi), substrat dan bidang *ground* dimana pada bagian elemen peradiasi ini dapat dibentuk berbeda satu sama lain.

Walaupun memiliki kelebihan diatas antena mikrostrip juga memiliki kelemahan-kelemahan diantaranya adalah memiliki *bandwidth* yang kecil, namun telah banyak metode yang digunakan untuk mengatasi kelemahan itu. Salah satu metode yang digunakan adalah dengan teknologi MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) dimana salah satu keunggulan teknologi ini adalah memanfaatkan keadaan multipath yang merupakan kelemahan bagi antena tunggal (Volakis, 2007).

Pada penelitian ini antena yang akan diteliti adalah dual antena mikrostrip dengan bahan antena yaitu terdiri substrat dari bahan FR4 dengan permitivitas bahan antara $4.1 \leq \epsilon_r \leq 4.6$, serta element peradiasinya yang berbahan tembaga (*copper*) dimana antena ini akan dapat diaplikasikan pada sistem MIMO. Pada antena MIMO efek mutual coupling memberikan pengaruh nyata akibat saling mempengaruhi antara antena yang satu dengan antena yang lain (Ozdemir dkk, 2003) sehingga diperlukan pemberian jarak yang efektif antara antena untuk mengurangi efek ini.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana mendesain serta menganalisa antena mikrostrip untuk aplikasi sistem MIMO

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membuat antenna mikrostrip menggunakan metode FDTD untuk aplikasi sistem MIMO yang bekerja pada frekuensi 2.4 GHz.
2. Mendapatkan serta menganalisis karakteristik antenna hasil desain dengan hasil fabrikasi yang telah di uji laboratorium.

1.4 Manfaat Penelitian

Diharapkan dari penelitian ini didapat desain antenna yang memiliki karakteristik yang baik sehingga dapat digunakan pada aplikasi sistem MIMO.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Prinsip Dasar Antena

Antena adalah alat yang dapat berfungsi memancarkan dan menerima energi elektromagnetik (Huang dkk, 2008), salah satu jenis antena yang ada yaitu antena mikrostrip. Dalam perancangan antena mikrostrip ukuran panjang *stripline* ditentukan oleh besarnya panjang gelombang dalam mikrostrip dan permitivitas efektif dari bahan yang dipakai. Jika cepat rambat gelombang diruang hampa adalah c maka:

$$c = f \lambda_0 \quad (2.1)$$

Sedangkan cepat rambat gelombang dalam mikrostrip,

$$v_p = f \lambda_g \quad (2.2)$$

Permitivitas efektif mikrostrip yang merupakan perbandingan kuadrat dari panjang gelombang dalam ruang hampa dan panjang gelombang pada mikrostrip (Edwards, 2000).

$$\epsilon_{eff} = \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_g} \right)^2 \quad (2.3)$$

atau,

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.4)$$

dengan:

ϵ_{eff} = permitivitas relative efektif

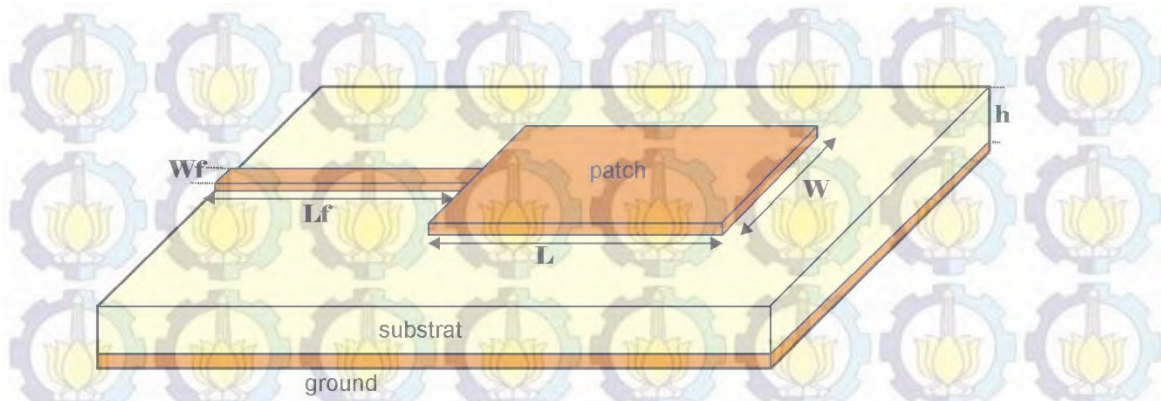
λ_0 = panjang gelombang elektromagnetik dalam ruang hampa

λ_g = panjang gelombang elektromagnetik dalam mikrostrip

f = frekuensi

2.2 Element Peradiasi Segi Empat

Suatu elemen peradiasi berbentuk segiempat dapat dilihat pada gambar 2.1 dimana element peradiasi ini memiliki parameter panjang (L) dan lebar (W).



Gambar 2.1 Dimensi Patch Segi Empat

Dalam merancang elemen peradiasi antenna berbentuk segi empat dapat dicari dengan persamaan (Huang dkk, 2008):

Untuk lebar *patch* (W),

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.5)$$

Dimana panjang efektif *patch* adalah,

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad (2.6)$$

Dengan ΔL adalah efek medan tepi pada elemen *patch* yaitu,

$$\Delta L = 0.412d \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{d} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{d} + 0.8 \right)} \quad (2.7)$$

Sehingga panjang *patch* (L) yang akan digunakan didapat dengan persamaan,

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}} \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} - 2\Delta L \quad (2.8)$$

Dimana f_r dan ϵ_{eff} pada persamaan 2.8 didapat dengan persamaan:

$$f_r = \frac{1}{2L_{eff} \sqrt{\epsilon_{eff}} \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (2.9)$$

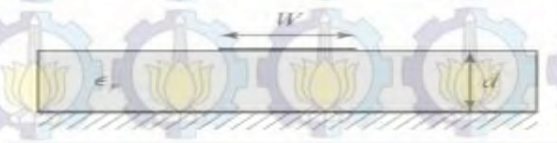
$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2 \sqrt{1 + \frac{12d}{W}}} \quad (2.10)$$

2.3 Teknik Pencatu Mikrostrip

Teknik pencatu mikrostrip atau *microstrip feeding* adalah suatu teknik pemberian daya pada antenna. Ada beberapa teknik pencatu pada antenna mikrostrip salah satunya adalah saluran mikrostrip (*microstrip line*). Parameter yang menjadi acuan dalam merancang suatu saluran mikrostrip ini adalah impedansi karakteristik (Z_0), hal ini menjadi penting agar impedansi antara antenna dengan saluran mikrostrip sesuai (*matching*). Z_0 dapat dihitung bila dimensi saluran mikrostrip diketahui, dengan persamaan (Pozar, 2011):

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left(\frac{8d}{W} + \frac{W}{4d} \right), \text{ untuk } W/d \leq 1 \quad (2.11)$$

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff} \left[\frac{W}{d} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{W}{d} + 1.44 \right) \right]}}, \text{ untuk } W/d \geq 1 \quad (2.12)$$



Gambar 2.2 Dimensi Saluran Pencatu
(Pozar, 2011)

Bila diketahui impedansi karakteristik (Z_0) dan permitivitas bahan (ϵ_r), maka besarnya W/d dapat dicari dengan persamaan:

$$\frac{W}{d} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2}, \text{ untuk } W/d < 2 \quad (2.13)$$

$$\frac{W}{d} = \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right], \text{ untuk } W/d > 2$$

Dimana:

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \quad (2.14)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$$

2.4 Parameter Antena

2.4.1 VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

VSWR merupakan suatu perbandingan amplitudo tegangan gelombang berdiri (*standing waves*) maksimum (V_{\max}) dengan amplitudo tegangan minimum (V_{\min}), tegangan maksimum terjadi jika tegangan pada gelombang datang (V_i) dan gelombang pantul (V_r) bergabung,

$$V_{\max} = V_i + V_r \quad (2.15)$$

Sedangkan tegangan minimum terjadi jika tegangan gelombang pantul (V_r) mengurangi besarnya tegangan gelombang datang (V_i),

$$V_{\min} = V_i - V_r \quad (2.16)$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} VSWR &= \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \\ &= \frac{V_i + V_r}{V_i - V_r} \\ &= \frac{1 + V_r/V_i}{1 - V_r/V_i} \end{aligned} \quad (2.17)$$

Dimana perbandingan antara tegangan yang dipantulkan dengan tegangan yang datang disebut koefisien refleksi (Γ), sehingga

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.18)$$

Atau

$$|\Gamma| = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \quad (2.19)$$

Suatu antena yang baik memiliki $VSWR \leq 2$.

2.4.2 Return Loss

Return loss merupakan besaran yang menunjukkan rugi daya akibat ketidaksesuaian impedansi, *return loss* didapat dari hasil pengukuran RF Network

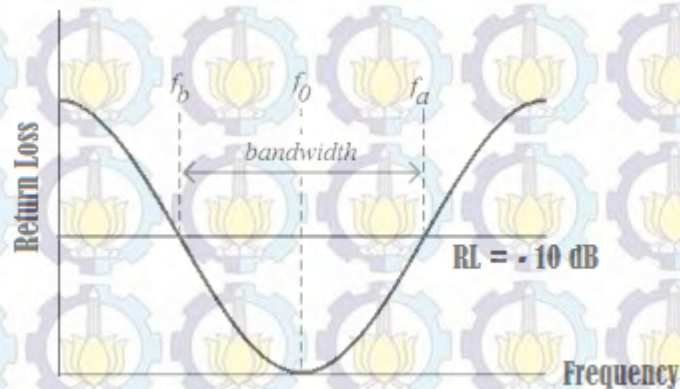
Analysers yang dinyatakan dalam besaran *decibel* (dB). *Return loss* dinyatakan dalam persamaan:

$$RL = -20 \log \Gamma \quad (2.20)$$

Dimana Γ adalah koefisien refleksi dan RL adalah *Return Loss*

2.4.3 Bandwidth

Bandwidth adalah lebar frekuensi antara frekuensi tertinggi dengan frekuensi terendah antenna dimana antenna tersebut bekerja masih bekerja dengan baik, *bandwidth* ini dibatasi oleh besarnya *return loss* ≤ -10 .



Gambar 2.3 *Bandwidth* Antena

Lebar *bandwidth* dapat dihitung dengan persamaan:

$$Bandwidth = \frac{f_a - f_b}{f_0} \quad (2.21)$$

f_a = frekuensi atas

f_b = frekuensi bawah

f_c = frekuensi tengah

2.5 Antena MIMO

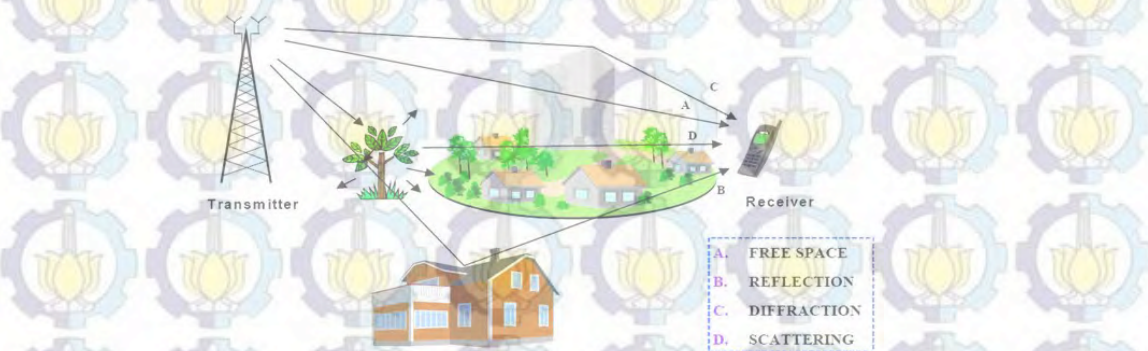
Teknologi MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) merupakan teknologi yang memanfaatkan banyak antenna baik antenna penerima maupun pengirim gelombang EM (multiantena). Kinerja sistem MIMO tergantung pada koefisien korelasi silang antara sinyal yang diterima oleh elemen antenna yang berbeda. Pada desain antenna untuk sistem MIMO, jarak antara antenna yang satu dengan antenna

yang lain perlu diatur sehingga dapat meminimalisir koefisien korelasi antara elemen antena agar meningkatkan kapasitas sistem tersebut (Mohajer dkk, 2009).

2.6 Sistem MIMO

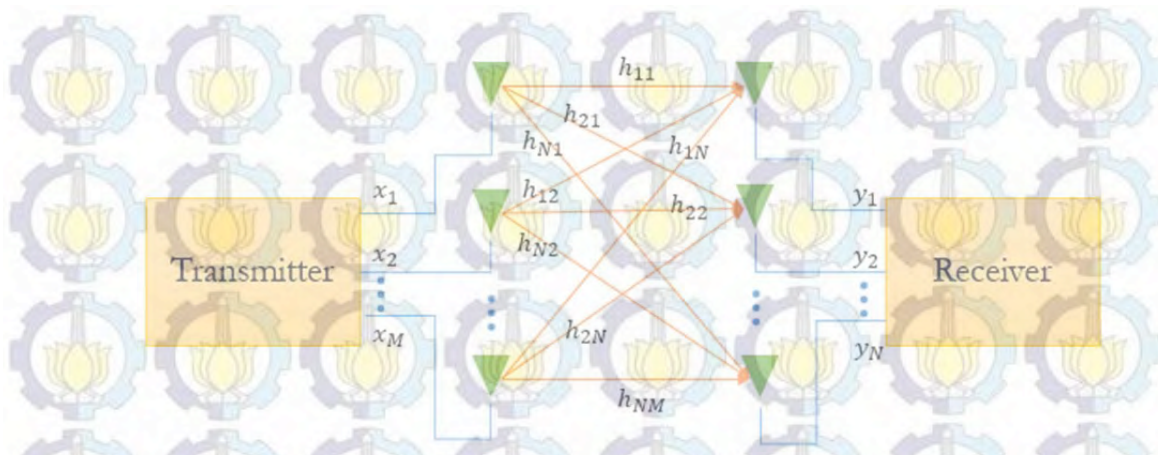
Sistem MIMO merupakan sistem yang terdiri dari sejumlah antena pada pengirim dan antena penerima. Tidak seperti sistem antena konvensional yang sangat rentan terhadap *multipath*, sistem MIMO justru bekerja sangat baik pada komponen *multipath*. Pada sistem MIMO, *multipath* digunakan untuk meningkatkan kualitas sinyal transmisi dan meningkatkan kecepatan transmisi sistem komunikasi (DeFlaviis, 2008). *Multipath* merupakan suatu bentuk gangguan atau interferensi yang muncul ketika sinyal memiliki lebih dari satu jalur pada saat ditransmisikan.

Ketika gelombang elektromagnetik dipancarkan oleh suatu transmisi maka pada saat penjarannya ke penerima, oleh objek yang dilewati gelombang tersebut terdapat kemungkinan gelombang tersebut dipantulkan, dibelokkan ataupun di hancurkan seperti pada gambar 2.3, hal inilah yang menyebabkan *multipath* (gelombang yang diterima dari pemancar berasal dari beberapa lintasan). Akibat dari keadaan *multipath* ini maka terjadi fluktuasi level daya sinyal yang diterima oleh *receiver* akibat beberapa lintasan tadi, hal ini dikenal dengan istilah *fading*. Akibat dari keadaan ini maka kualitas sinyal yang diterima oleh *receiver* menjadi kurang baik.



Gambar 2.4 Propagasi Gelombang EM dengan Letak Objek Secara Acak antara Pemancar dan Penerima

(<https://www.quora.com>)



Gambar 2.5 Sistem MIMO $m \times n$
(<http://www.gaussianwaves.com>)

Pada gambar 2.4 dapat dilihat model sistem MIMO dengan pengirim dan penerima lebih dari satu antenna, penerima akan menerima sinyal yang dikirimkan oleh antenna pengirim setelah sinyal tersebut dikalikan suatu matriks kanal H . Suatu sistem MIMO secara matematis dapat ditulis:

$$y = Hs + n \quad (2.22)$$

Dengan

$$H = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{21} & \dots & H_{m1} \\ H_{12} & H_{22} & \dots & H_{m2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ H_{1n} & H_{2n} & \dots & H_{nm} \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

Dimana

y = sinyal yang diterima

H = kanal propagasi MIMO

s = sinyal yang dikirim

n = derau/ noise

Matriks kanal H ini merupakan matriks kanal MIMO pada kanal transmisi. Matriks ini akan berguna dalam mendapatkan kembali sinyal informasi pada sisi penerima. Dalam sistem MIMO terdapat dua metode yang digunakan, yaitu metode *Space Time Coding* (STC) dan metode *Spatial Multiplexing* (SM) (Tsoulus, 2006).

Space Time Coding adalah suatu teknik mengirimkan data yang sama secara paralel melalui antenna yang berbeda dengan *coding* (pengkodean) pada data yang berbeda, dan pada posisi waktu (*time slot*) yang berbeda pula (Biglieri, 2007). Teknik ini memberi peningkatan kualitas sinyal (De Flavis, 2008).

Spatial Multiplexing adalah teknik dimana suatu data di bagi dalam beberapa bagian data kemudian data yang berbeda dikirim secara paralel, pada saat antenna satu mengirimkan sebagian data, antenna yang lain mengirimkan bagian data yang lainnya pada saat yang sama (Sibille, 2011). Teknik ini memberikan keuntungan pada peningkatan kecepatan transmisi sistem komunikasi (DeFlavis, 2008).

2.7 Scattering Parameter

Scattering Parameter atau yang dikenal sebagai Parameter S merupakan parameter yang bekerja pada frekuensi tinggi. Suatu rangkaian dimana a_1 dan a_2 merupakan input dan b_1 dan b_2 adalah output port 1 dan port 2, rangkaian ini bisa di karakterisasi dengan Parameter S.

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

Parameter S menggambarkan hubungan antara input maupun output dari port (terminal) dalam sistem elektrik. Jika dua terdapat dua port (gambar 2.6), maka S_{12} menyatakan transfer daya dari port 2 ke port 1 sedangkan S_{21} menyatakan transfer daya dari port 1 ke port 2 dan secara umum transfer daya dari port M ke port N dalam sistem multi port. Sebuah port dapat dikatakan sebagai tempat dimana kita dapat memberikan tegangan atau arus.

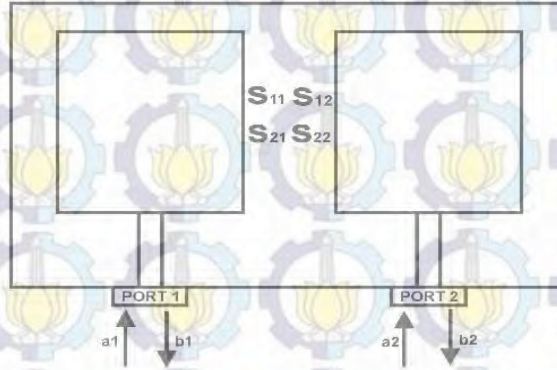
Dimana $[S]$ memperlihatkan hubungan antara dua port, yaitu:

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

Dengan mengembangkan matriks diatas memberikan persamaan

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \quad (2.26)$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \quad (2.27)$$



Gambar 2.6 Sistem Antena 2 Port

Masing – masing persamaan memberi hubungan antara gelombang datang dan gelombang pantul pada port 1 dan port 2, dimana jika port 2 diberi beban yang sama dengan impedansi sistem Z_0 , maka berdasar teori transfer daya maksimum, b_2 akan total diserap dan membuat a_2 sama dengan nol, begitu juga jika port 1 diberi beban sesuai dengan impedansi sistem Z_0 maka a_1 sama dengan nol. Sehingga:

$$\begin{aligned} S_{11} &= \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} = \frac{V_1^-}{V_1^+} & S_{12} &= \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} = \frac{V_1^-}{V_2^+} \\ S_{21} &= \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} = \frac{V_2^-}{V_1^+} & S_{22} &= \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0} = \frac{V_2^-}{V_2^+} \end{aligned} \quad (2.28)$$

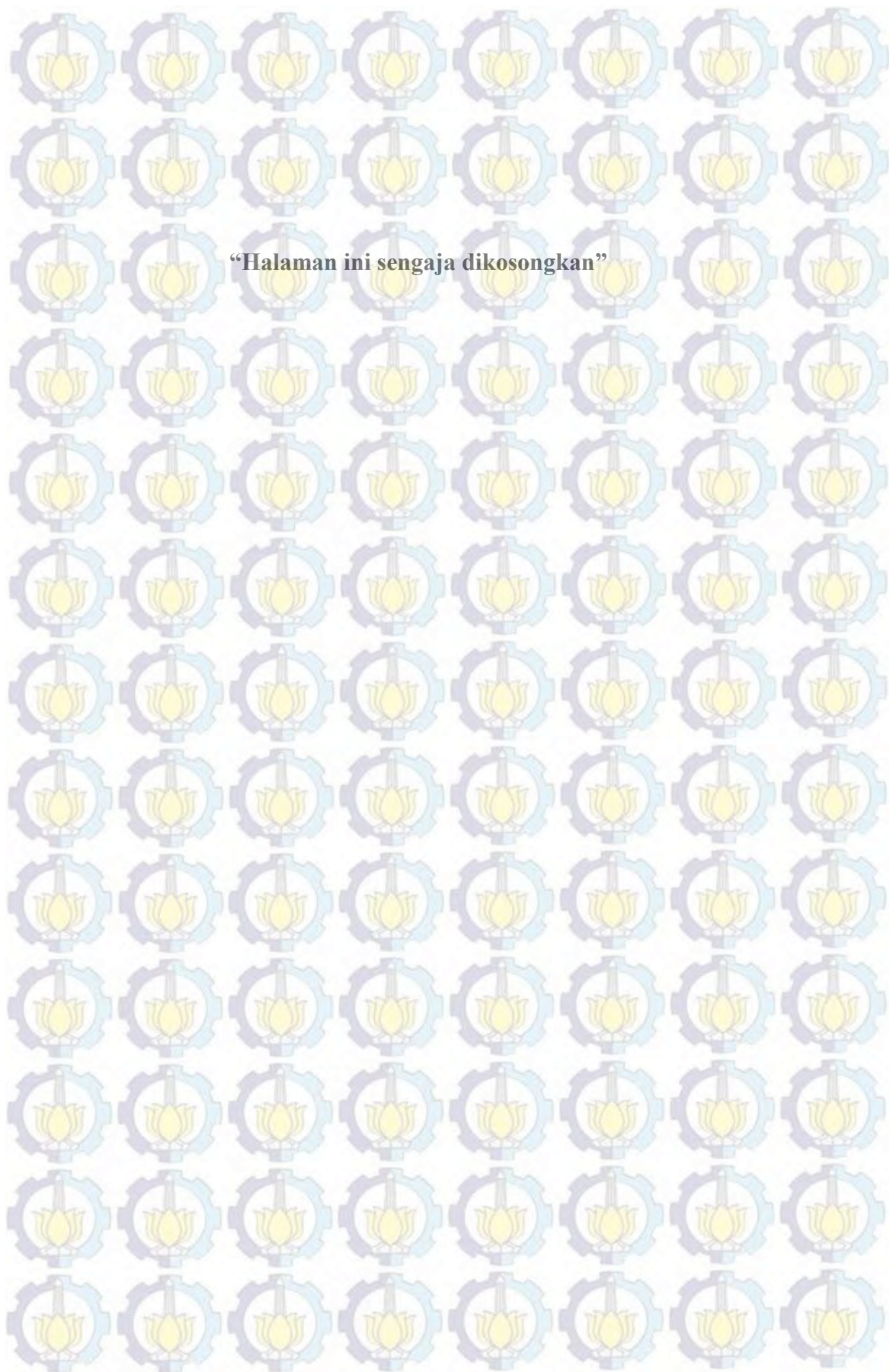
Dimana:

S_{11} = koefisien refleksi port 1

S_{12} = koefisien transmisi port 2 ke port 1

S_{21} = koefisien transmisi port 1 ke port 2

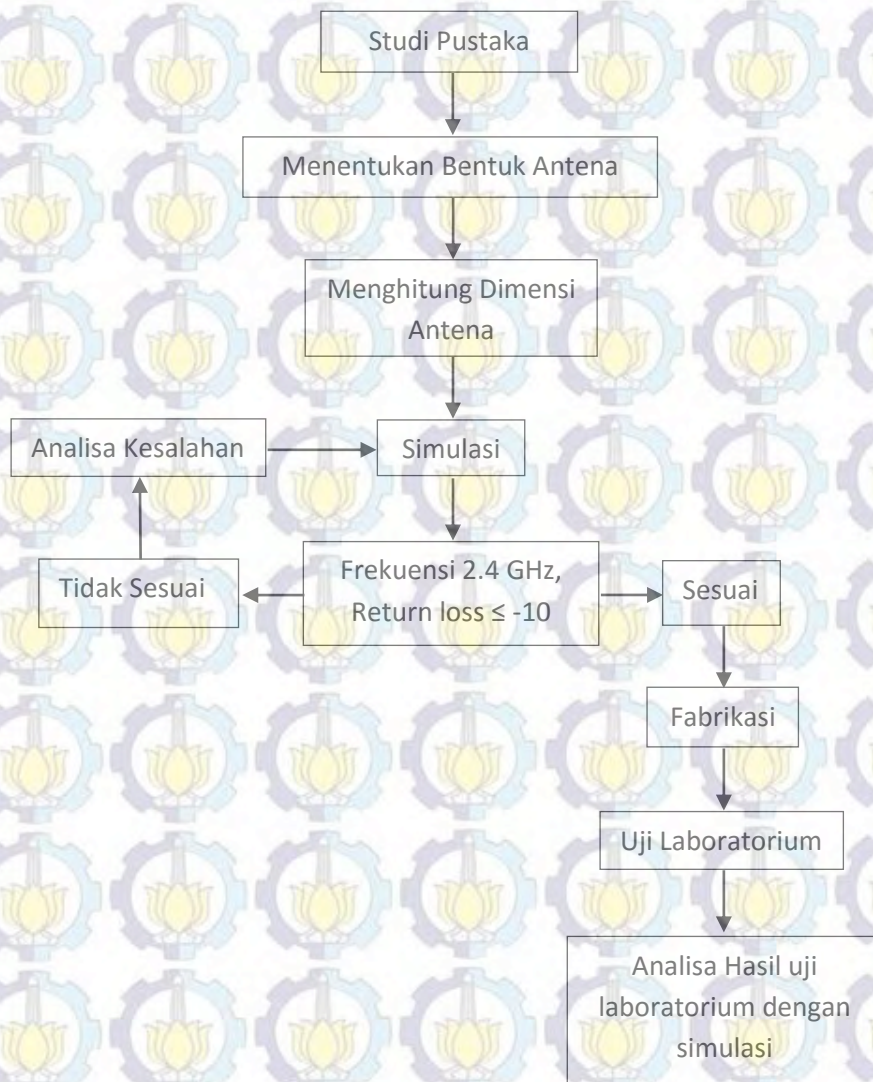
S_{22} = koefisien refleksi port 2



BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Prosedur Penelitian

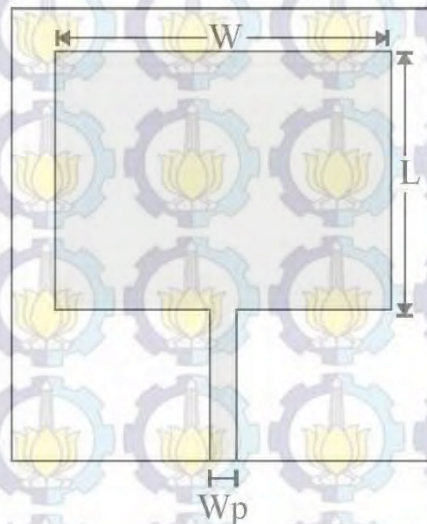
Penelitian ini diselesaikan dalam beberapa tahap yang secara garis besar terlihat pada diagram dibawah:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Pemilihan Antena

Pada pemilihan antena yang dilakukan adalah menentukan antena yang akan digunakan pada frekuensi 2.4 GHz. Element *patch* antena yang dipilih berbentuk antena segi empat, bentuk ini dipilih karena kemudahan pada perhitungan dimensi dan dalam proses fabrikasi nantinya. Pada tahap ini antena hanya terdiri satu.



Gambar 3.2. Antena Mikrostrip Segi Empat

Lebar *patch*/element peradiasi (W) dihitung berdasarkan persamaan 2.5. Sedangkan panjang *patch*/element peradiasi (L) dihitung berdasarkan persamaan 2.8. Panjang dan lebar element peradiasi ditentukan berdasarkan frekuensi antena yang akan digunakan dengan ketebalan substrat (d) adalah 1.6 mm, untuk lebar dimensi pencatu (W_{pencatu}) dihitung berdasarkan persamaan 2, dengan $Z_0 = 50$ ohm.

3.3 Desain dan Simulasi Antena Mikrostrip

Proses desain dilakukan menggunakan *software* CST Microwave Studio 2011, *software* ini menggunakan metode *Finite Difference Time Domain* dalam analisa gelombang elektromagnetik yang ditimbulkan dari desain tersebut. Setelah desain dibuat maka dilakukan simulasi untuk mengetahui karakteristik yang kita inginkan. Hasil dari simulasi ini didapat hasil analisa *return loss*, *bandwidth*, pola radiasi bidang H dan bidang E.

3.4 Modifikasi Peningkatan Performa

Modifikasi dilakukan pada antenna awal dengan memberikan penambahan slot pada bidang *ground*. Modifikasi dilakukan dua tahap. Tahap pertama, modifikasi dilakukan dengan menambahkan slot horisontal pada bidang *ground*. Pada tahap kedua dilakukan kombinasi slot vertikal pada slot pertama. Dari modifikasi ini memberikan kriteria *return loss* yang lebih baik dari pada antenna awal.

3.5 Penggabungan Antena

Penggabungan dilakukan setelah kriteria antenna sudah terpenuhi. Antena digabung dalam satu bidang dimana jarak antara antenna diberikan sebesar $\frac{1}{2}\lambda$. Jarak ini mempengaruhi besar kecilnya efek *mutual coupling* pada antenna.

3.6 Fabrikasi Antena

Proses pembuatan antenna MIMO ini dilakukan menggunakan bahan PCB yang secara umum mengandung FR4 dengan permitivitas relatif sebesar $\epsilon_r = 4.6$, proses ini dilakukan dua tahap, yaitu tahap desain bentuk antenna dan pencetakan antenna. Proses pertama adalah mendesain bentuk antenna agar memberikan ukuran model sesungguhnya yang akan dicetak pada papan PCB. Proses selanjutnya adalah desain yang sudah siap tersebut di print dan kemudian di *copy* pada media transparan yang akan dijadikan model cetakan antenna dan ditempelkan pada bagian konduktor PCB, model gambar yang tercetak pada PCB kemudian dengan menggunakan senyawa kimia $\text{Fe}(\text{ClO}_2)_3$ (*FerriChloride*) menghilangkan bagian konduktor yang tidak tertutup model cetakan sehingga yang tinggal adalah model yang sesuai dengan antenna yang akan dibuat.

3.7 Pengukuran Antena

Pengukuran parameter – parameter antenna dilakukan menggunakan Network Analyzer dimana pada antenna mikrostrip yang telah terpasang konektor tipe SMA $50\ \Omega$ dihubungkan langsung dengan *port transmitter* dari Network Analyzer dan bagian keluaran (*output*) dihubungkan langsung dengan *port receiver* antenna.

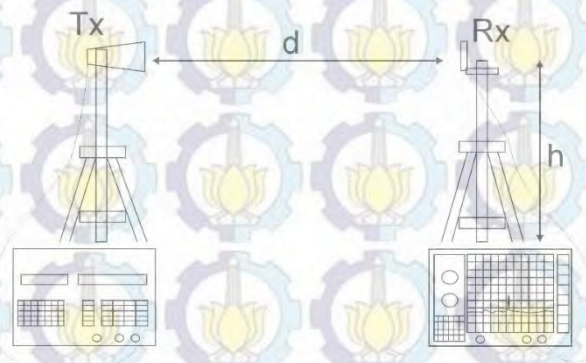
Pengukuran *return loss* dilakukan menggunakan Network Analyser ADVANTEST R3770 300 kHz – 20 GHz. Pengukuran parameter *return loss* S11 dan S21 antenna kiri dengan menempatkan *port* 1 pada antenna kiri dan *port* 2 pada antenna kanan, selanjutnya *port* dibalik untuk mengukur S11 dan S21 antenna kanan.



Network Analyser

Gambar 3.3 Pemasangan Antena pada Port Network Analyser

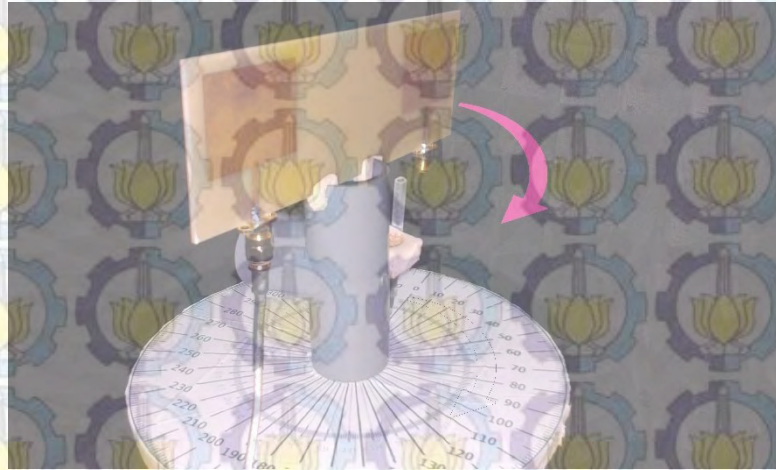
Pada pengukuran pola radiasi digunakan Generator Sinyal HP 8350B dan antenna horn sebagai antenna pengirim, pada bagian penerima digunakan Spektrum Analyser HP 8593A 9 kHz – 22 GHz. Pengukuran polaradiasi antenna dilakukan terhadap bidang E dan bidang H antenna, pengukuran dilakukan tiap 5° . Pada bidang E antenna diputar secara vertikal dari 0° - 360° (gambar 3.6) sedangkan untuk mengukur bidang H antenna diputar secara horisontal dari 0° - 360° (gambar 3.5). Pengambilan data dilakukan terhadap antenna kiri maupun antenna kanan. Antenna *transmitter* dan antenna uji dipisahkan sejauh ± 1 meter dan tinggi antenna ± 1.4 meter.



Generator Sinyal

Spektrum Analyser

Gambar 3.4 Seting Alat Pengukuran Pola Radiasi



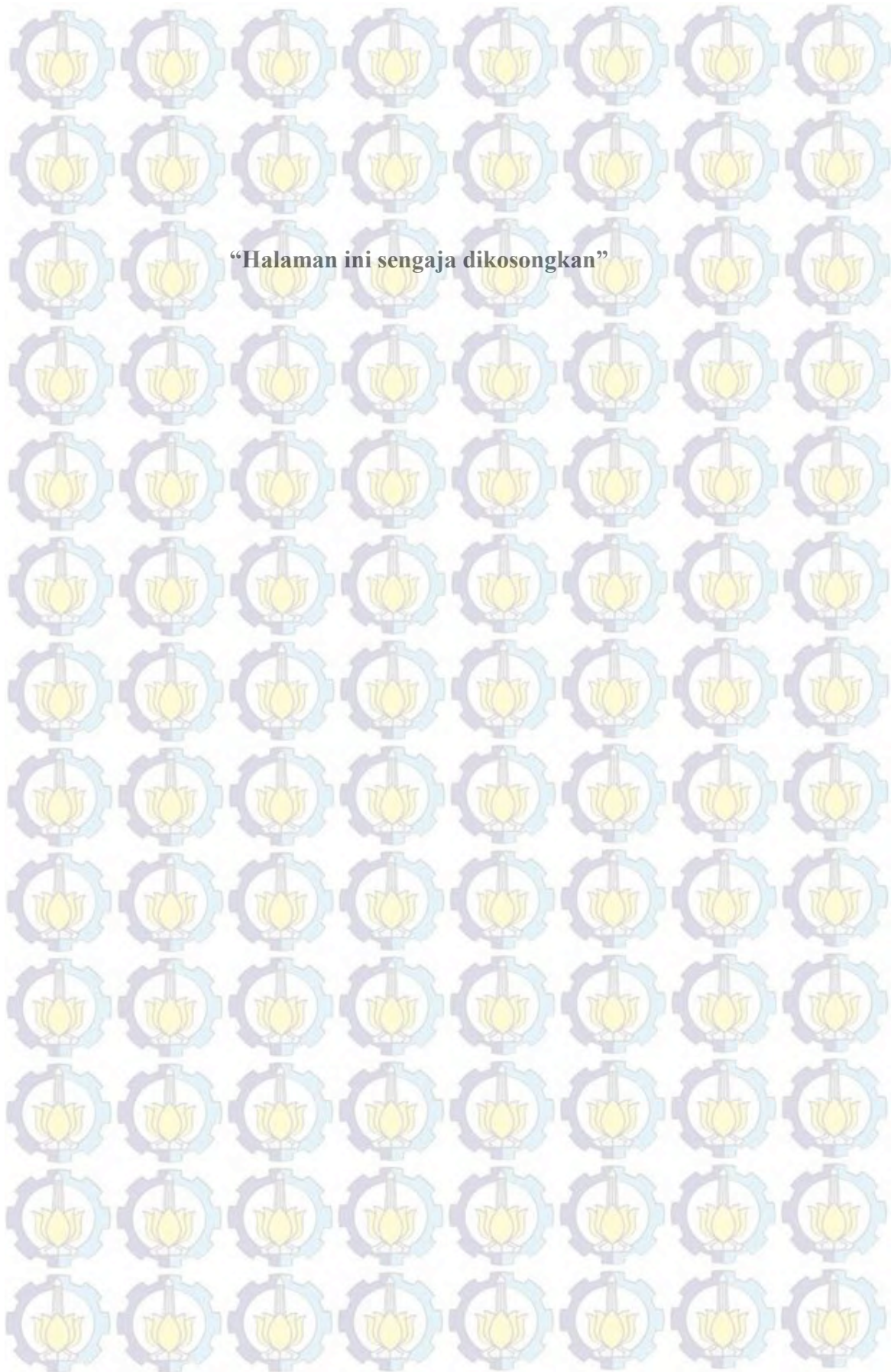
Gambar 3.5 Pengukuran Pola Radiasi Arah Horisontal



Gambar 3.6 Pengukuran Pola Radiasi Arah Vertikal

3.8 Analisis Antena Hasil Simulasi dan Hasil Pengukuran

Antena dari hasil simulasi yang didapat kemudian dibandingkan dengan antena hasil uji laboratorium dimana alat uji yang dipakai salah satunya adalah menggunakan Network Analyser. Perbandingan ini untuk melihat sejauh mana penyimpangan hasil pengukuran antena terhadap simulasi antena yang dilakukan.

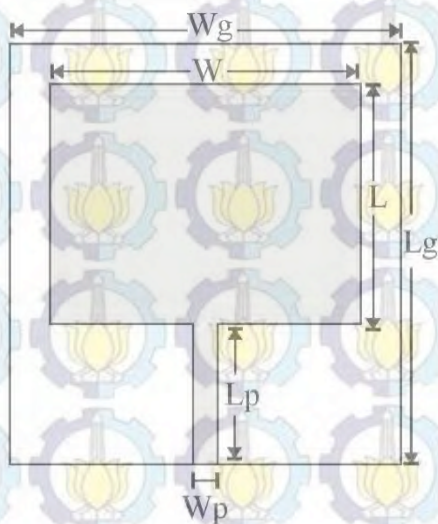


BAB 4

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Simulasi Perancangan Antena Segi Empat Tunggal

Dimensi antena terlebih dahulu dihitung menggunakan persamaan pada antena segi empat yang ada pada bab sebelumnya dengan frekuensi kerja 2.4 GHz. Dari perhitungan didapat ukuran element – element antena yang terdapat pada tabel 4.1 dengan dimensi *patch* yang digunakan adalah $28.81 \times 37.35 \text{ mm}^2$ (gambar 4.1).

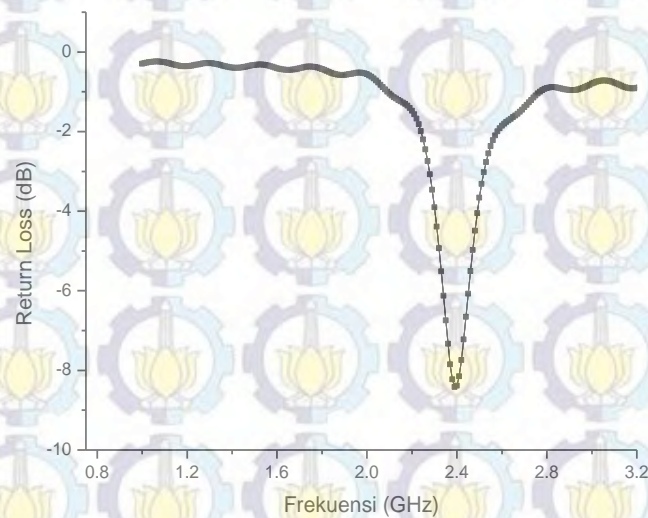


Gambar 4.1. Dimensi Antena Segi Empat

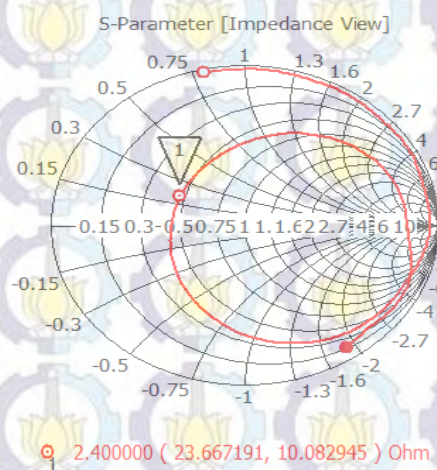
Table 4.1 Parameter antena segi empat

PARAMETER	DESKRIPSI	UKURAN (mm)
W	Lebar <i>Patch</i>	37.35
L	Panjang <i>Patch</i>	28.81
W_g	Lebar substrat	46.95
L_g	Panjang substrat	50.42
W_p	Lebar <i>feeding</i>	2.92
L_p	Panjang <i>feeding</i>	16.81

Antena dengan dimensi yang sudah dihitung terlebih dahulu (Tabel 4.1) kemudian disimulasikan menggunakan software CST Microwave Studio 2011, antenna dengan ukuran yang digunakan memberikan nilai frekuensi sesuai yang diharapkan yaitu pada frekuensi 2.4 Ghz (gambar 4.2). Pada antenna ini walaupun berfrekuensi 2.4 Ghz namun memberikan nilai *return loss* tidak sesuai yang diharapkan yaitu hanya -8.386 dB, dimana nilai *return loss* yang diharapkan adalah ≤ -10 dB. Dari simulasi juga didapat impedansi antenna yaitu sebesar $(23.66 + j10.08) \Omega$.



Gambar 4.2. Return Loss Hasil simulasi antenna awal

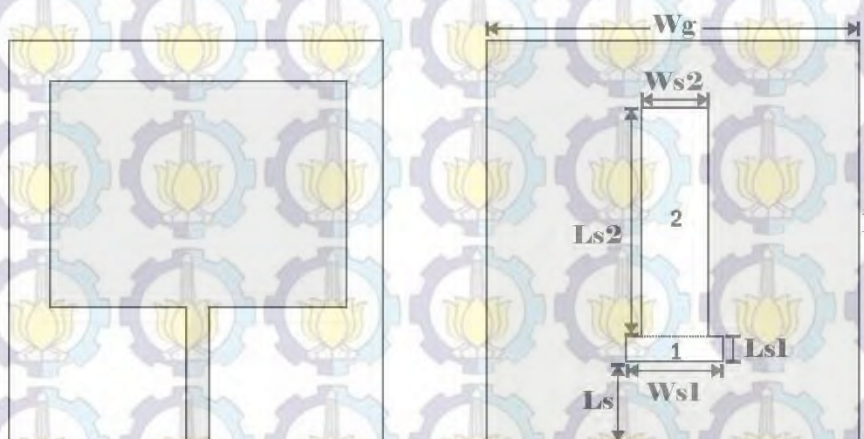


Gambar 4.3. Impedansi hasil simulasi antenna awal

Dari simulasi rancangan antenna ini sudah memberikan spesifikasi frekuensi kerja antenna yang diberikan namun perlu dilakukan optimasi sehingga nilai *return loss* sesuai dengan kriteria yang diinginkan. Optimasi yang dilakukan adalah dengan menambahkan slot pada bidang *ground* sehingga menghasilkan antenna dengan spesifikasi *return loss* yang lebih baik dari pada antenna awal ini.

4.2 Simulasi Perancangan Antena Segi Empat dengan Slot pada Bidang Ground

Dari hasil simulasi pertama kemudian antenna dioptimasi dengan penambahan slot pada bidang *ground* antenna. Modifikasi dengan menambahkan slot pada bidang *ground* telah banyak diteliti dalam buku maupun dalam jurnal penelitian.

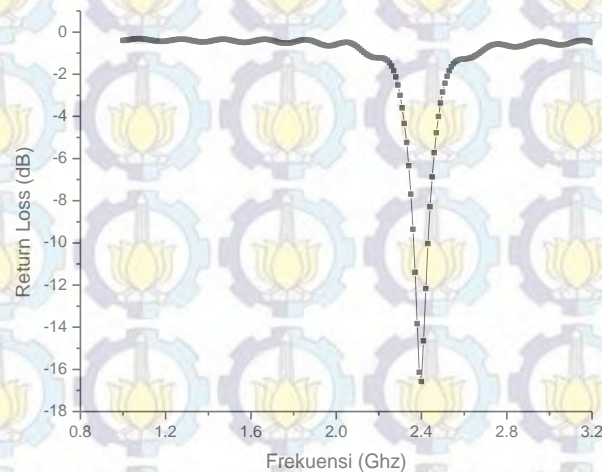


Gambar 4.4. Dimensi antenna dengan slot

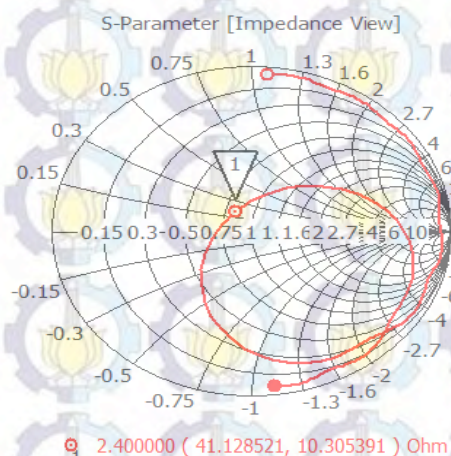
Table 4.2 Parameter antenna segi empat dengan slot

PARAMETER	DESKRIPSI	UKURAN (mm)
W_g	Lebar Substrat	46.95
L_g	Panjang Substrat	50.42
W_{s1}	Lebar Slot 1	12
L_s	Panjang Slot dari bawah ground	10.5
W_{s2}	Lebar Slot 2	8
L_{s1}	Panjang Slot 1	2.92
L_{s2}	Panjang Slot 2	29

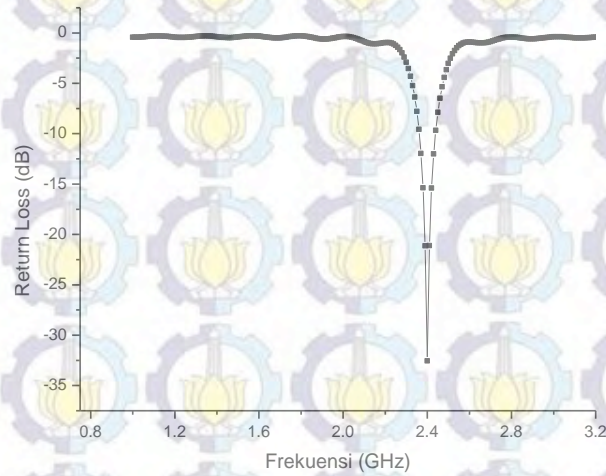
Slot pada *ground* memiliki bentuk yang bermacam-macam (Weng dkk, 2008). Pada beberapa penelitian (Gupta dkk, 2012), (Gupta dkk, 2013) penambahan slot pada bidang *ground* memberikan nilai *return loss* yang semakin kecil. Terdapat dua kegiatan pada optimasi ini yaitu penambahan slot 1 dan penambahan slot 2. Penambahan slot pada bidang *ground* (slot 1) dengan bentuk horisontal pada gambar 4.3 dengan ukuran 2.92×12 mm memberikan efek pada nilai *return loss* dimana terjadi pertambahan *return loss* sebesar -8.193 dari simulasi antenna awal *return loss* -8.386 dB menjadi -16.579 dB pada antenna dengan slot 1 (gambar 4.5). Dari simulasi antenna dengan slot 1 juga didapat impedansi antenna yaitu sebesar $(41.12 + j10.30) \Omega$ (gambar 4.6).



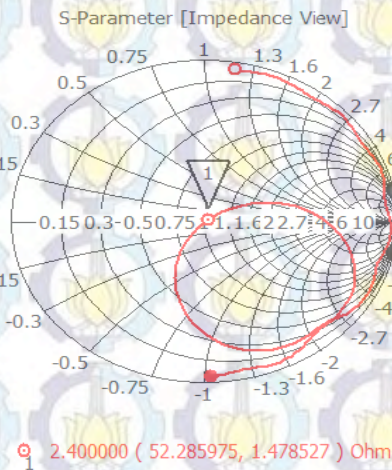
Gambar 4.5. Return Loss Hasil Simulasi Antena dengan Slot 1



Gambar 4.6. Impedansi Hasil Simulasi antenna dengan slot 1



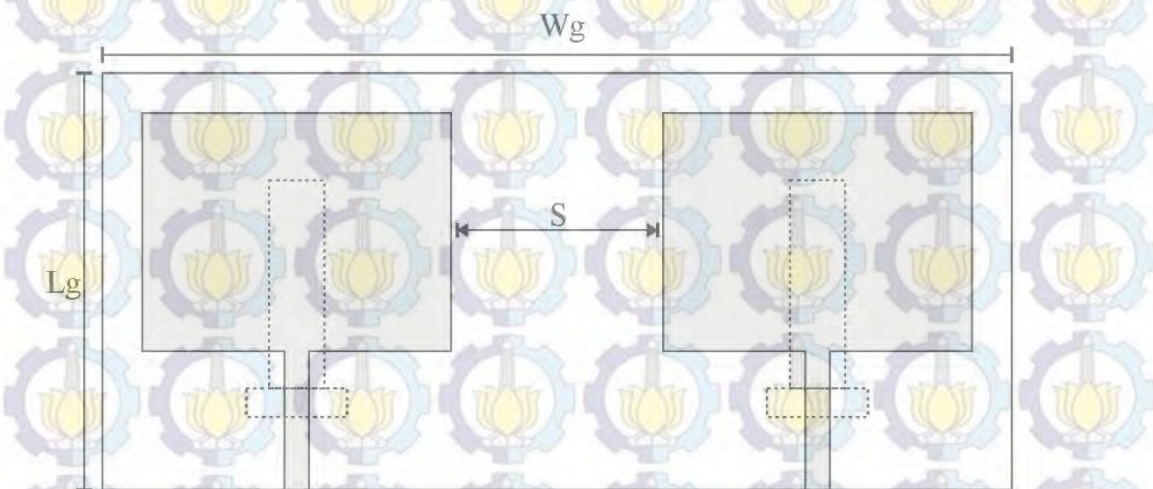
Gambar 4.7. Return Loss Hasil Simulasi antenna dengan slot 1 dan 2



Gambar 4.8. Impedansi Hasil Simulasi antenna dengan slot 1 dan 2

Namun untuk mengantisipasi pada saat pengukuran dimana nilai *return loss* ini dapat berubah (berkurang) akibat pengabungan antenna maupun pada saat fabrikasi, maka dilakukan penambahan slot yang kedua dengan bentuk vertikal yaitu seperti pada gambar 4.3 dengan dimensi $29 \times 8 \text{ mm}$. Dari penambahan slot kedua ini terjadi perubahan *return loss* yang semakin baik (gambar 4.7) menjadi -32.564 dB, dimana terjadi penambahan *return loss* sebesar -15.985 dB dari antenna dengan menggunakan slot 1. Dari simulasi antenna dengan slot 1 dan 2 ini di dapat impedansi antenna yaitu sebesar $(52.28 + j1.47) \Omega$ (gambar 4.8).

4.3 Penggabungan Antena

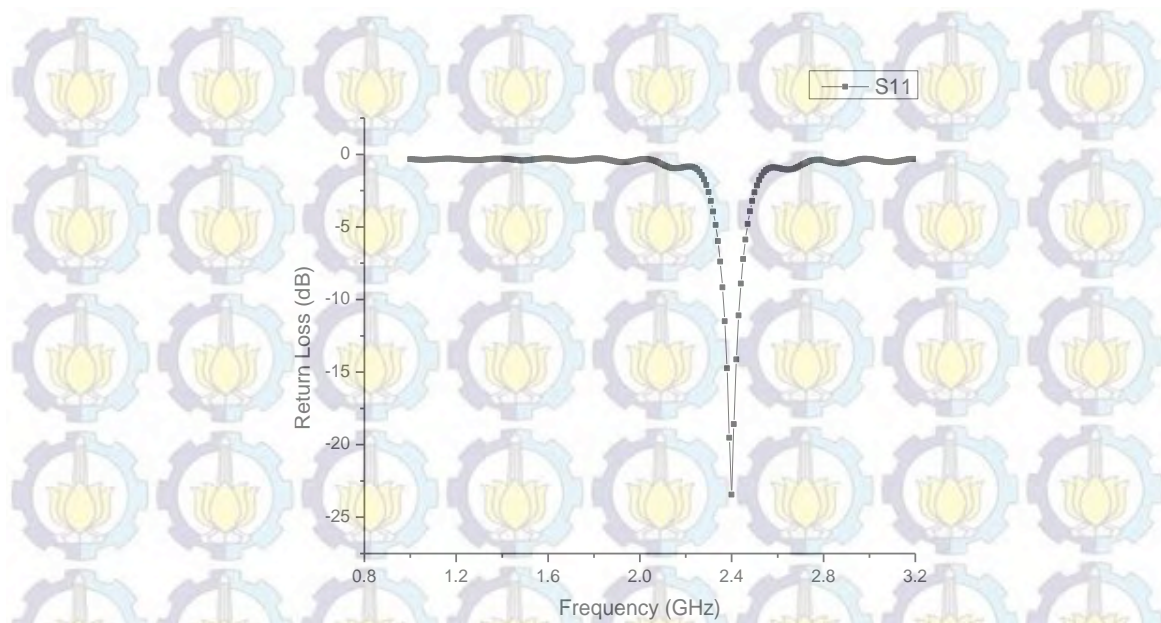


Gambar 4.9. Penggabungan dua antena tunggal

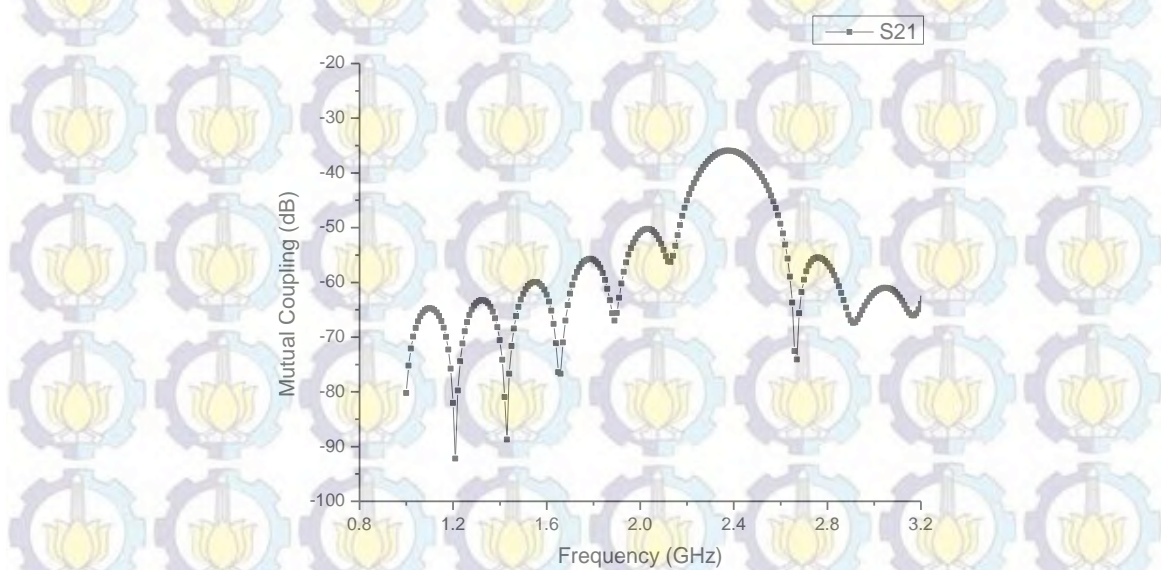
Dengan menggunakan gabungan dua slot pada bidang *ground* antena tunggal didapat nilai *return loss* yang lebih baik. Antena dengan slot tersebut digunakan untuk merancang antena MIMO. Dua antena tunggal digabung dan dipisahkan dengan jarak antara antena (S) sebesar 0.5λ , penggabungan dua antena ini menyebabkan terjadinya pertambahan panjang pada substrat, sehingga dimensi substrat menjadi $50.42 \times 146.8 \text{ mm}^2$ (gambar 4.9).

Simulasi dari penggabungan antena ini menghasilkan 2 parameter yaitu parameter S_{11} dan parameter S_{21} antena kiri maupun antena kanan. Karena hasil simulasi menggunakan CST menghasilkan parameter yang identik antara antena kiri maupun antena kanan maka hasil simulasi ditampilkan satu parameter antena kiri saja yaitu parameter S_{11} dan S_{21} (gambar 4.10 dan 4.11).

Dari hasil dari simulasi (gambar 4.10) didapatkan nilai parameter S_{11} (*return loss*) sebesar -23.446 dB dan parameter S_{21} sebesar -35.911 dB (gambar 4.11) pada frekuensi 2.4 GHz. Hasil simulasi antena gabungan ini terlihat bahwa *return loss* setelah antena digabung menjadi berkurang dari *return loss* antena tunggal dengan slot 1 dan 2 (gambar 4.7). Penggabungan antena tunggal menjadi antena MIMO mengakibatkan *return loss* berkurang sebesar -9.445 dB.



Gambar 4.10. Simulasi Antena MIMO S11

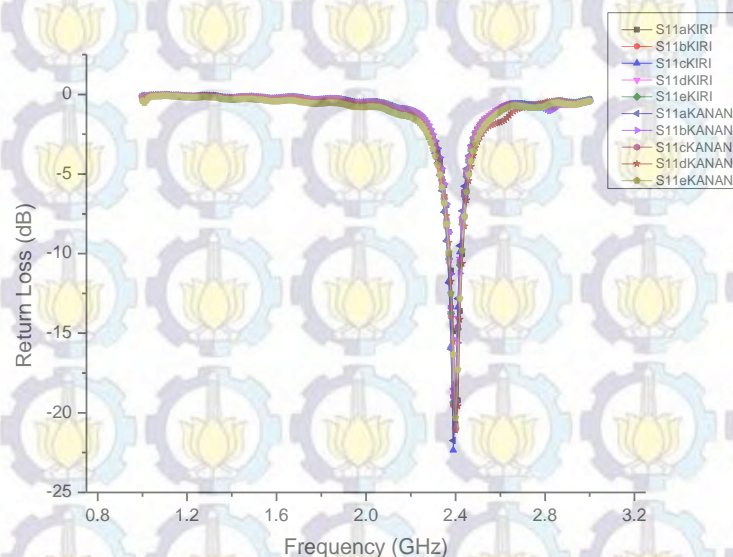


Gambar 4.11. Simulasi antena MIMO S21

4.4 Pengukuran Antena MIMO

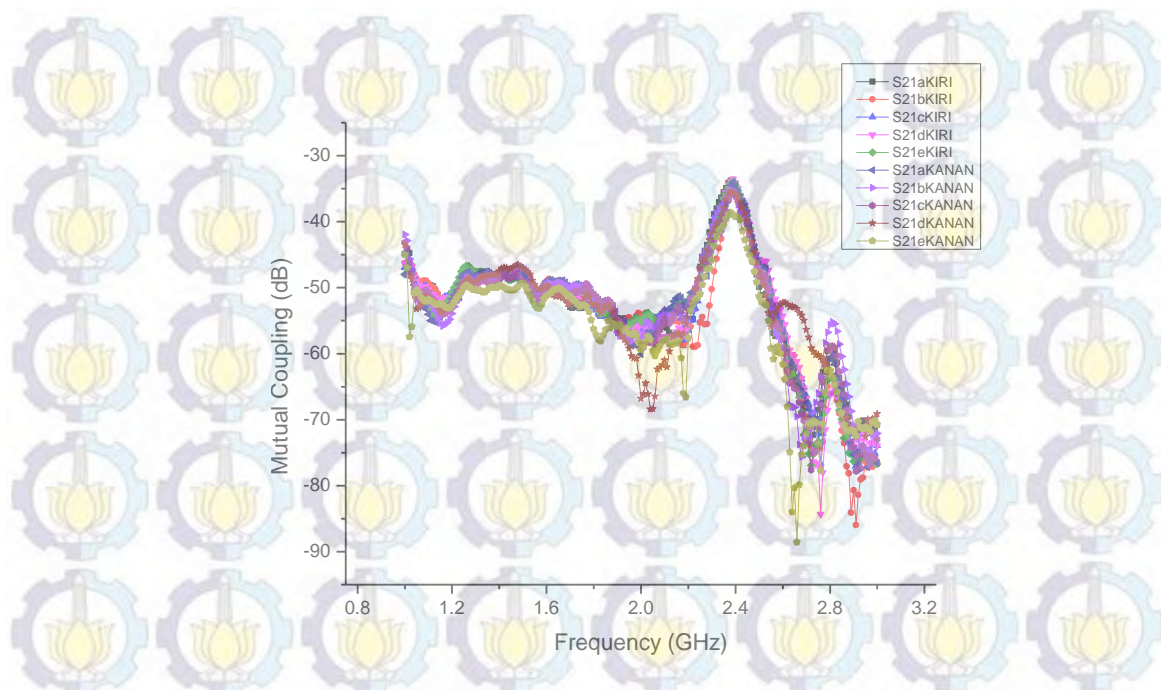
Setelah melalui beberapa tahap dalam perancangan dan simulasi didapatkan rancangan yang optimum bagi antenna untuk fabrikasi. Setelah proses fabrikasi dilakukan pengukuran parameter *return loss* pada antenna. Hasil pengukuran antenna fabrikasi ditunjukkan grafik *return loss* pada gambar 4.12.

Berdasarkan hasil pengukuran return loss yang dilakukan sebanyak 5 kali dengan menggunakan Network Analyzer didapat nilai *return loss* terendah (S11) antenna kiri maupun antenna kanan. Pada antenna kiri (S11 kiri) pengukuran pertama didapat *return loss* terendah berada pada frekuensi 2.4 GHz yaitu sebesar -20.705 dB, pengukuran kedua didapat *return loss* terendah berada pada frekuensi 2.4 GHz yaitu sebesar -20.851 dB, pengukuran ketiga didapat *return loss* terendah berada pada frekuensi 2.39 GHz yaitu sebesar -22.355 dB, pengukuran ke empat didapat *return loss* terendah berada pada frekuensi 2.4 GHz yaitu sebesar -19.281 dB, dan pada pengukuran ke lima pada antenna kiri didapat *return loss* terendah berada pada frekuensi 2.4 GHz yaitu sebesar -20.968 dB.



Gambar 4.12. Pengukuran Return Loss (S11) antenna MIMO

Pada antenna kanan (S11 kanan) pengukuran pertama didapat *return loss* terendah berada pada frekuensi 2.39 GHz yaitu sebesar -21.751 dB, pengukuran kedua didapat *return loss* terendah berada pada frekuensi 2.4 GHz yaitu sebesar -19.288 dB, pengukuran ketiga didapat *return loss* terendah berada pada frekuensi 2.4 GHz yaitu sebesar -21.041 dB, pengukuran ke empat didapat *return loss* terendah berada pada frekuensi 2.4 GHz yaitu sebesar -21.105 dB, dan pada pengukuran ke lima pada antenna kiri didapat *return loss* terendah berada pada frekuensi 2.4 GHz yaitu sebesar -20.325 dB (gambar 4.12).



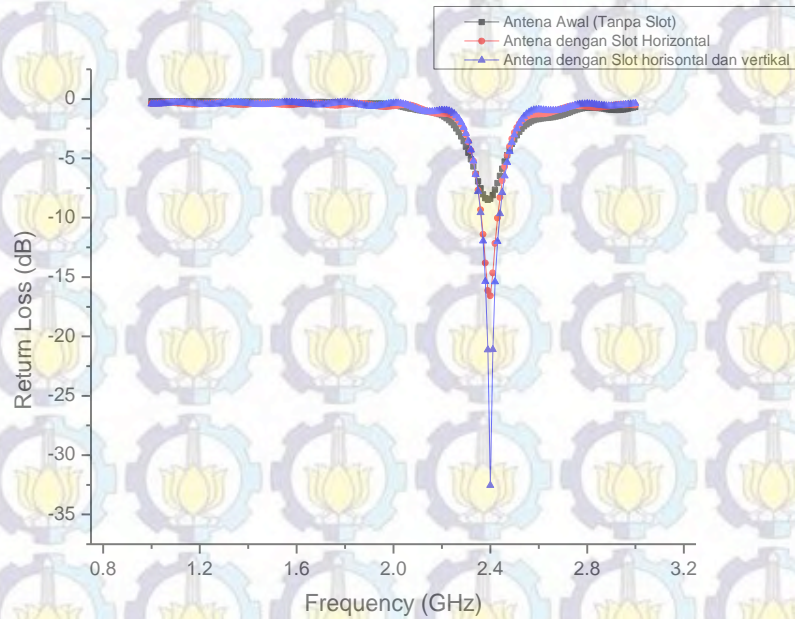
Gambar 4.13. Pengukuran Mutual Coupling (S21) antenna MIMO

Pada pengukuran antenna kiri dan antenna kanan (S21) didapat hasil seperti gambar 4.13, pada pengukuran pertama nilai maksimum pada antenna kiri (S21) sebesar -33.667 dB, pengukuran kedua sebesar -35.513 dB, pengukuran ketiga sebesar -34.907 dB, pengukuran ke empat sebesar -33.527 dB, dan pada pengukuran ke lima sebesar -33.915 dB, semuanya berada pada frekuensi 2.39 Ghz. Sedangkan pada antenna kanan (S21) nilai maksimumnya yaitu pada pengukuran pertama sebesar -34.030 dB pada frekuensi 2.39 Ghz, pengukuran kedua sebesar -35.180 dB pada frekuensi 2.38 Ghz, pengukuran ketiga sebesar -35.635 dB pada frekuensi 2.39 Ghz, pengukuran ke empat sebesar -35.437 dB pada frekuensi 2.38 Ghz, dan pengukuran ke lima sebesar -38.622 dB pada frekuensi 2.38 Ghz.

4.5 Analisis Pengukuran Antena Tunggal dan Antena MIMO

Dari simulasi yang dilakukan pada antenna tunggal awal tanpa slot dengan antenna slot 1 dan juga dengan antenna dengan slot 1 dan 2 diperoleh peningkatan *return loss* yang dapat dilihat perbandingannya pada gambar 4.14. Penambahan slot pada ground memberikan efek yang sangat baik dimana pada desain awal terlihat bahwa frekuensi berada pada 2.4 Ghz namun syarat $return\ loss \leq -10$ tidak

terpenuhi yaitu hanya -8.386 dB, setelah penambahan slot pertama (vertikal) dengan dimensi $2.92 \times 12 \text{ mm}^2$, *return loss* menjadi lebih baik yaitu -16.579 dB, selanjutnya dilakukan penambahan slot kedua (horisontal) dengan dimensi $29 \times 8 \text{ mm}^2$ memberikan nilai *return loss* yang lebih baik lagi menjadi -32.564 dB.



Gambar 4.14. Perbandingan return loss antenna tunggal

Perubahan nilai *return loss* yang semakin baik ini disebabkan oleh perubahan luasan dari antenna itu sendiri pada bidang *ground*, hal ini memberikan dampak terhadap nilai kapasitansi antenna dimana ketika luasan berkurang maka mengakibatkan nilai kapasitansi semakin kecil berdasarkan persamaan:

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

Karena nilai kapasitansi yang dihasilkan bernilai kecil akibat berkurangnya luasan dari *ground* oleh slot yang diberikan, sehingga mengakibatkan perubahan nilai impedansi antenna tersebut yang ditunjukkan oleh persamaan

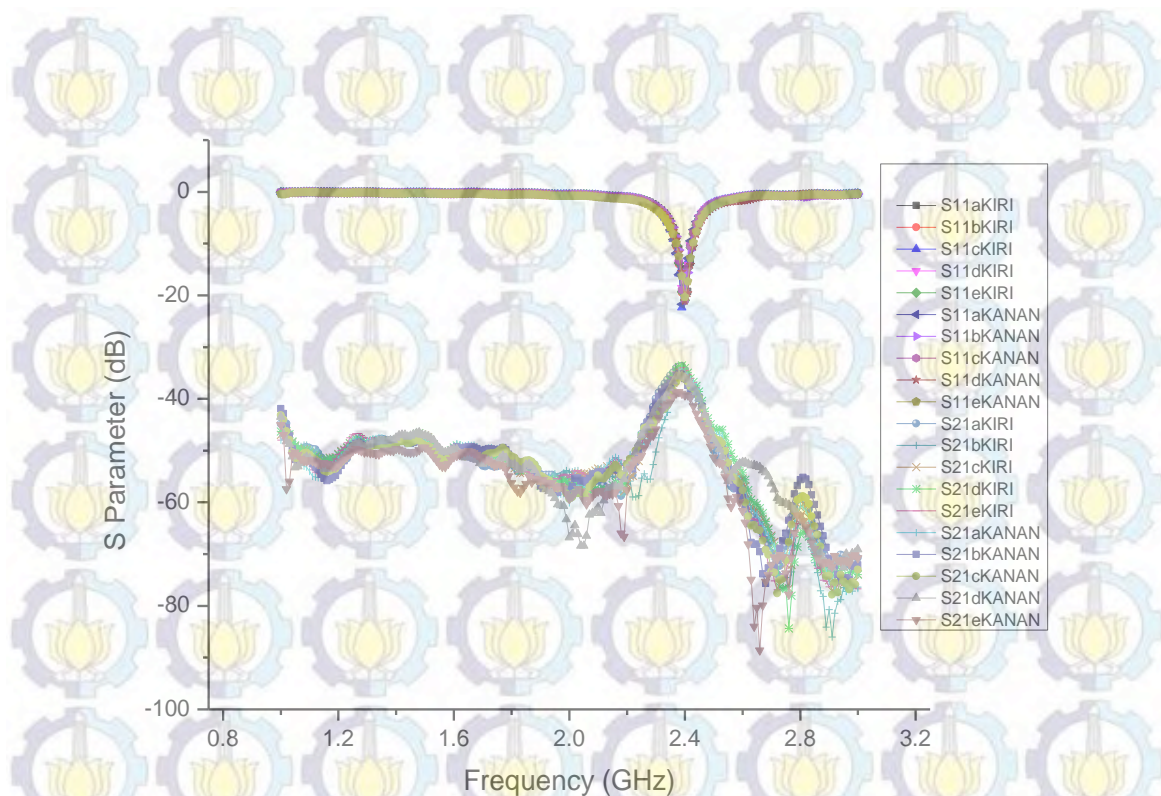
$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Dimana ketika kapasitansi semakin kecil maka berdampak semakin besarnya nilai impedansi, hal ini diperlihatkan pada gambar 4.3, gambar 4.6 dan gambar 4.8. Perubahan nilai *return loss* pada antenna tunggal sebelum dan sesudah pemberian slot 1 dan slot 2 menandakan bahwa *matching* impedansi antenna tersebut semakin baik akibat penambahan slot dengan dimensi yang telah diberikan pada antenna tersebut.

Pada antenna MIMO, perbandingan antara *return loss* simulasi antenna tunggal (gambar 4.7) sebesar -32.564 dB dengan *return loss* simulasi antenna MIMO (gambar 4.10) sebesar -23.446 dB memperlihatkan berkurangnya nilai *return loss* sebesar -9.445 dB. Perubahan ini dipengaruhi oleh antenna yang berdekatan akibat penggabungan dua antenna menjadi antenna MIMO. Penggabungan ini menyebabkan efek mutual kopling yang saling mempengaruhi energi antara satu antenna dengan antenna yang lain (Jia-ren, 2012) yang akan mengurangi efisiensi transmisi (Ahmed, 2005). Secara umum parameter S21 merupakan parameter yang memperlihatkan pengaruh besar kecilnya *mutual coupling* pada antenna ini, efek ini dipengaruhi oleh jarak antara antenna. Dengan memberikan jarak 0.5λ didapat efek mutual kopling yang kecil (gambar 4.13).

Pada antenna MIMO hasil pengukuran S11 yang dilakukan pada antenna bagian kiri rata-rata pengukuran -20.832 dB pada frekuensi 2.396 GHz dan antenna MIMO bagian kanan rata-rata pengukuran -20.702 dB pada frekuensi 2.398 GHz. Rata – rata pengukuran S21 antenna kiri -34.3058 dB pada frekuensi 2.39 GHz dan rata – rata pengukuran S21 antenna kanan -35.7808 dB pada frekuensi 2.384 GHz. Rata – rata perbedaan jarak S11 dan S21 antenna kiri sebesar -13.4738 dB dan rata – rata perbedaan jarak S11 dan S21 antenna kanan sebesar -15.0788 dB. Perbedaan jarak ini dapat dilihat pada gambar 4.15.

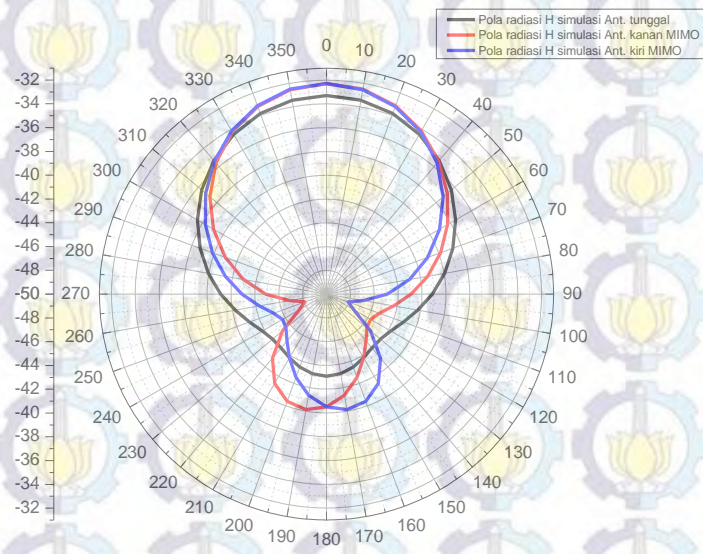
Untuk *bandwidth* antenna ditentukan oleh nilai batas yaitu dengan nilai *return loss* sebesar ≤ -10 dB, sehingga batas frekuensi yang dimiliki antenna ini adalah untuk frekuensi batas atas adalah 2.42 Ghz dan frekuensi batas bawah sebesar 2.37 Ghz. Hal ini memberikan *bandwidth* yang sempit untuk antenna ini yaitu sebesar 0.05 Ghz.



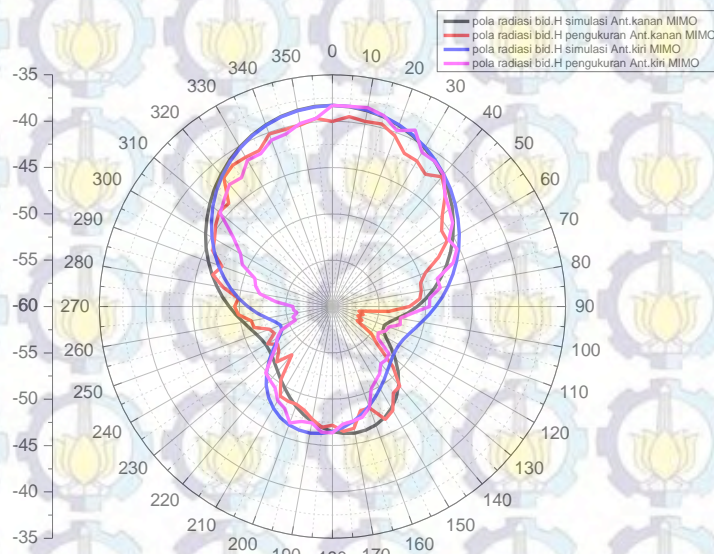
Gambar 4.15. Return Loss S11 dan S21 antenna MIMO

Pada pengukuran pola radiasi dilakukan dua pengukuran yaitu pengukuran bidang horisontal dan bidang vertikal. Pengukuran dilakukan dengan memutar antenna pada bidang putar dari sudut 0^0 sampai dengan sudut 360^0 , antenna diputar setiap 5^0 (gambar 3.5 dan 3.6). Pada gambar 4.16 diperlihatkan pola radiasi horisontal antenna tunggal dengan antenna MIMO bagian kiri dan bagian kanan, sedangkan pada gambar 4.18 diperlihatkan pola radiasi vertikal antenna tunggal dengan antenna MIMO bagian kiri dan bagian kanan. Dari gambar tersebut memperlihatkan penggabungan antenna mempengaruhi pola radiasi antenna.

Pola radiasi antenna bidang H maupun bidang E baik pada antenna tunggal maupun pada antenna MIMO terlihat bahwa muncul pola radiasi dibagian belakang antenna, hal ini di akibatkan oleh penggunaan slot pada bidang ground sehingga radiasi dapat menembus bidang ground antenna melewati slot yang terdapat pada bagian ground.



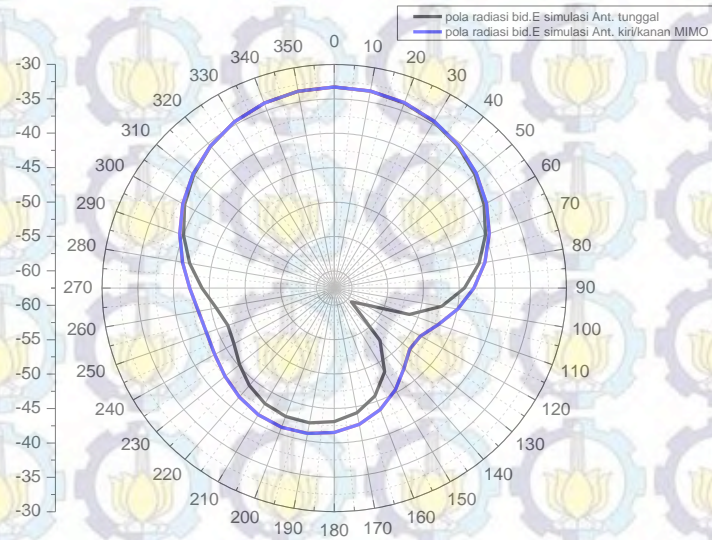
Gambar 4.16. Pola radiasi simulasi bidang H antenna tunggal dan MIMO



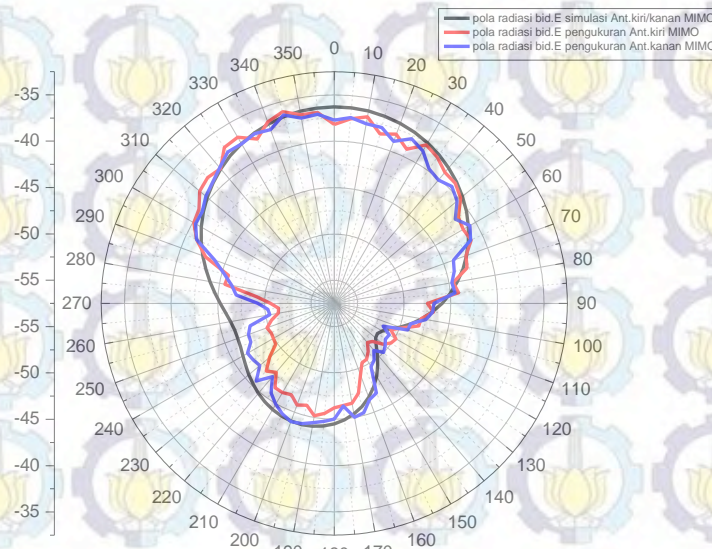
Gambar 4.17. Pola radiasi simulasi dan pengukuran antenna MIMO bidang H

Pada polarisasi bidang H juga terlihat bahwa pola radiasi antenna MIMO bagian kiri dan bagian kanan berbeda dengan pola radiasi antenna tunggal (gambar 4.16), perubahan ini terjadi akibat perubahan bidang *patch* terhadap bidang ground, pada gambar 4.9 terlihat bahwa sisi terluar antenna MIMO kiri dan kanan memiliki bidang ground yang lebih kecil dibanding sisi dalam antenna MIMO,

dimana kita tahu bersama bahwa bidang ground antenna juga berfungsi sebagai reflektor, sehingga bagian tengah antenna merefleksikan radiasi lebih besar dari bagian sisi luar kiri dan kanan antenna MIMO sehingga membentuk pola radiasi seperti terlihat pada gambar 4.16 .

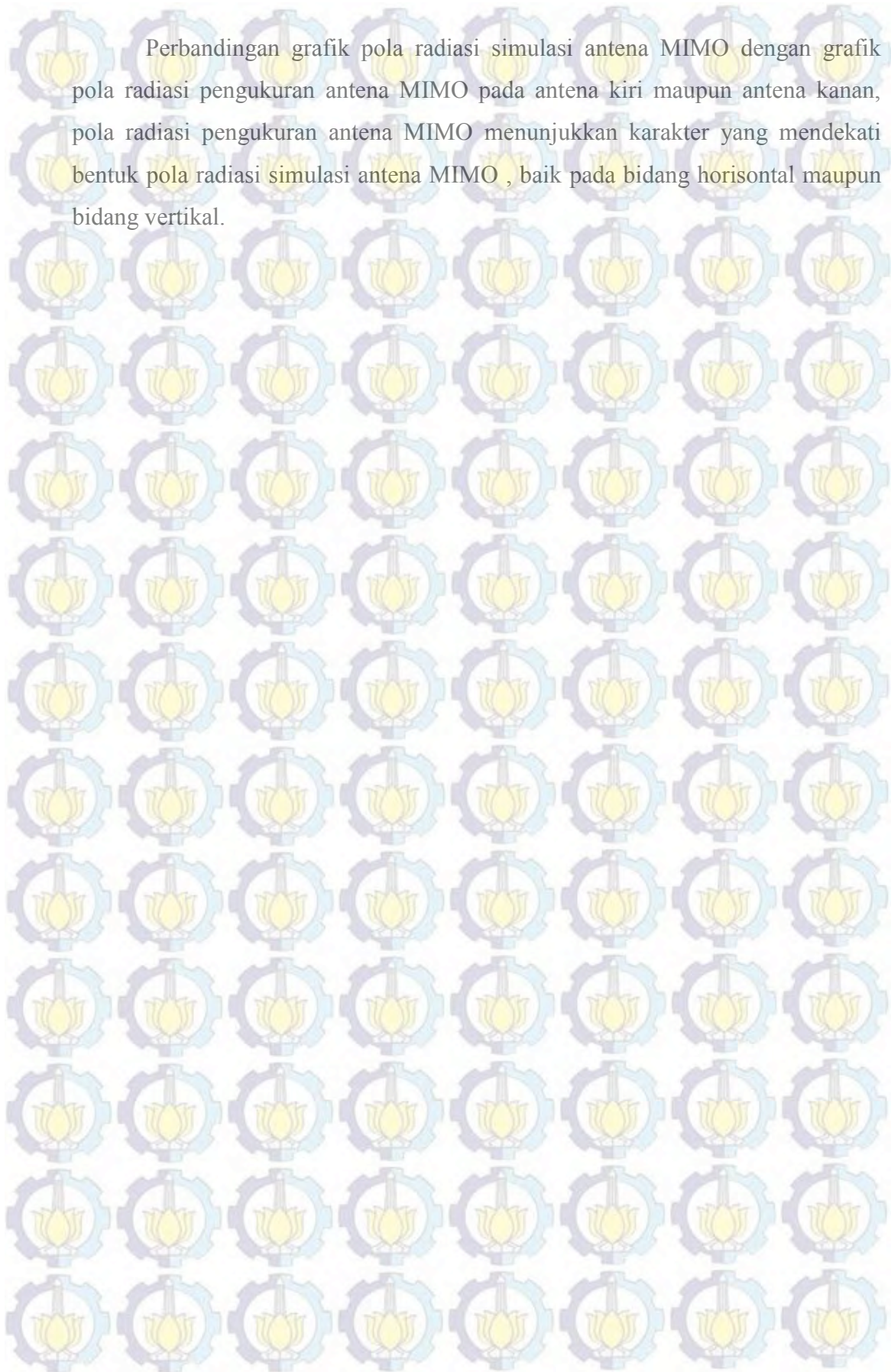


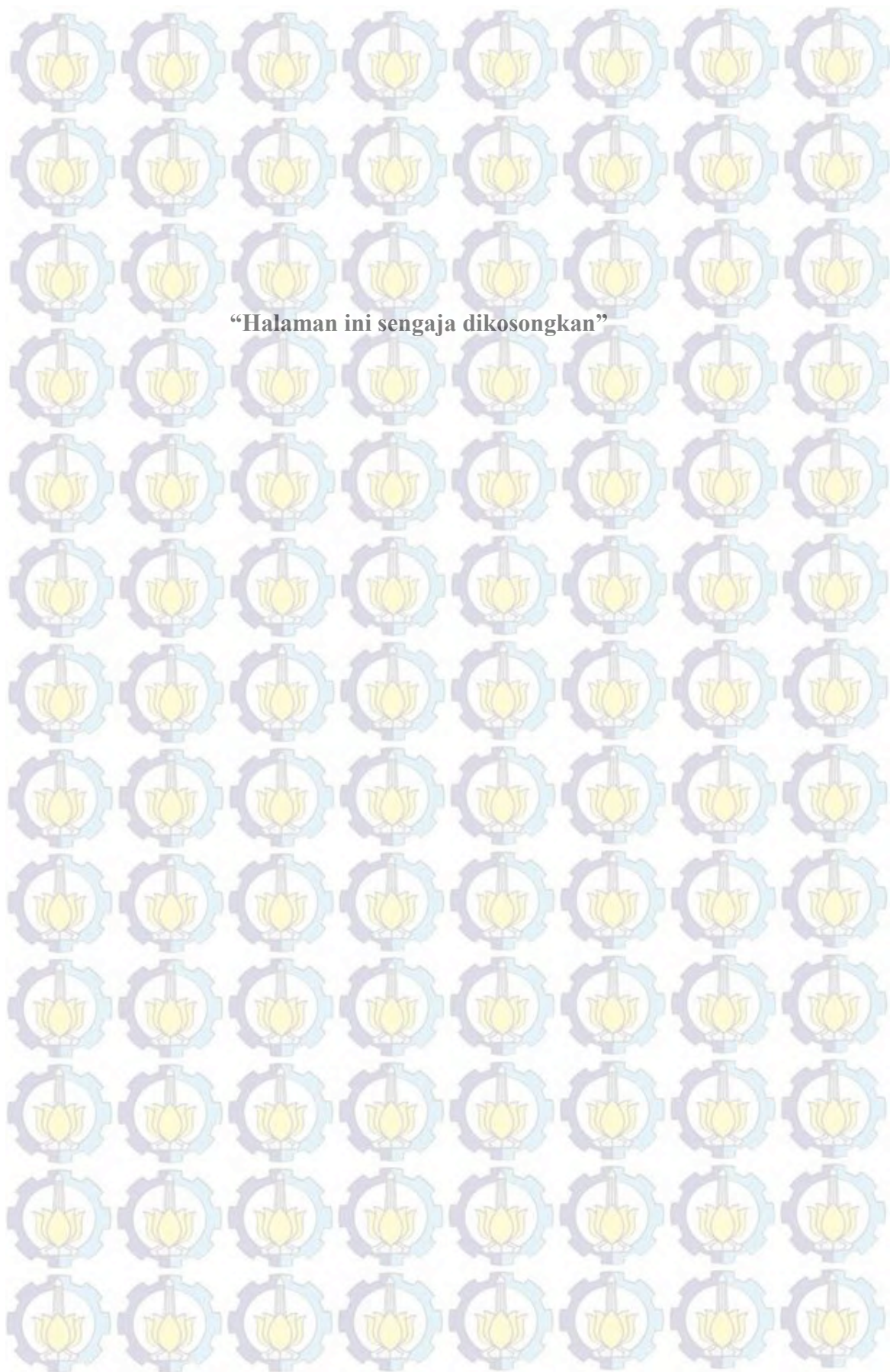
Gambar 4.18. Pola radiasi simulasi bidang E antenna tunggal dan MIMO



Gambar 4.19. Pola radiasi simulasi dan pengukuran antenna MIMO bidang E

Perbandingan grafik pola radiasi simulasi antenna MIMO dengan grafik pola radiasi pengukuran antenna MIMO pada antenna kiri maupun antenna kanan, pola radiasi pengukuran antenna MIMO menunjukkan karakter yang mendekati bentuk pola radiasi simulasi antenna MIMO, baik pada bidang horisontal maupun bidang vertikal.





BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

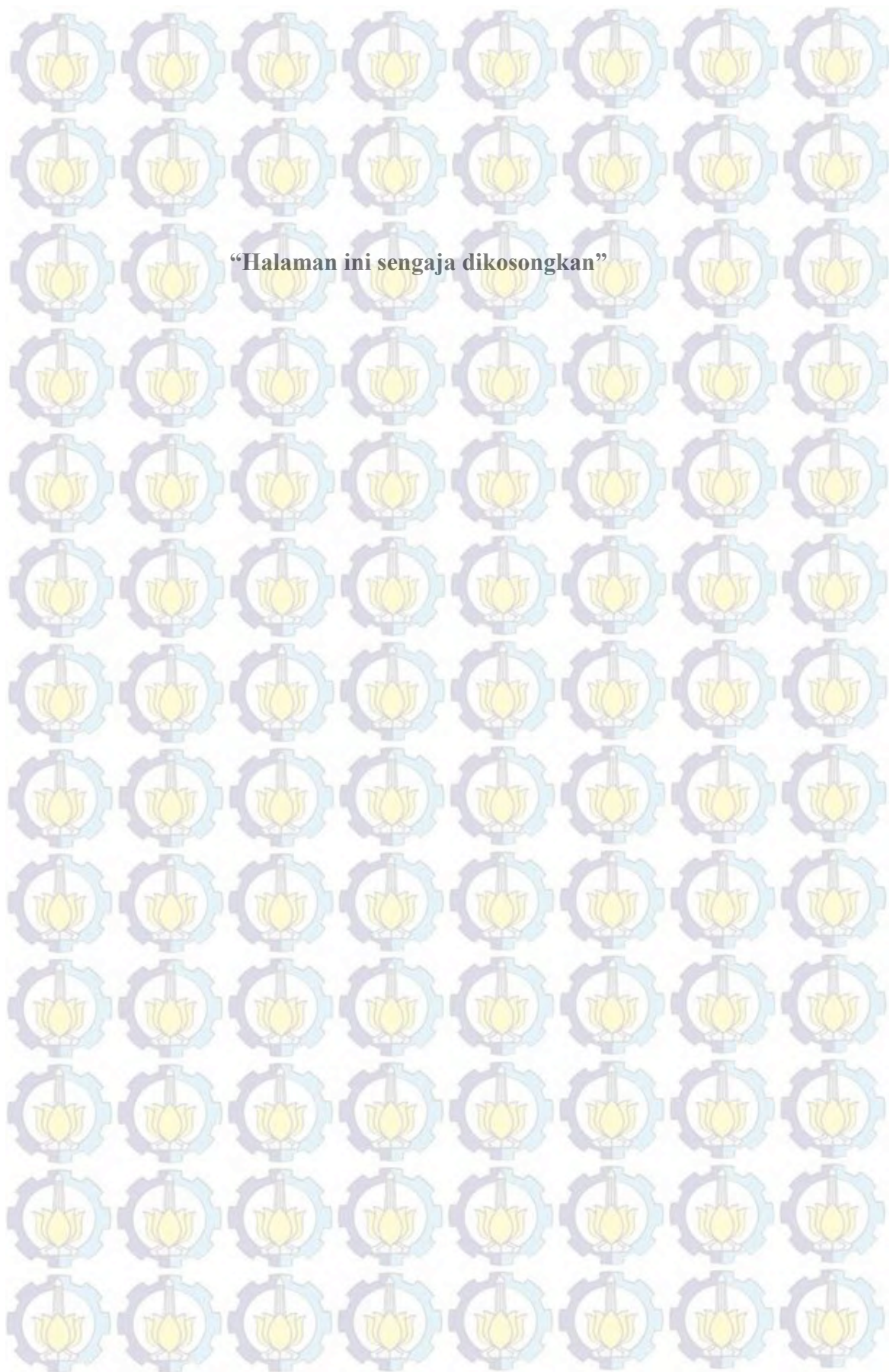
5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian mengenai Desain Antena Mikrostrip Untuk Aplikasi Sistem MIMO ini diperoleh kesimpulan yaitu:

1. Dengan simulasi kita memperoleh informasi mengenai perubahan pada parameter antena akibat penambahan slot sehingga memberikan kemudahan dalam mendesain antena sesuai tujuan yang kita inginkan.
2. Penambahan slot yang dilakukan pada bidang ground antena tunggal menghasilkan *return loss* yang lebih baik.
3. Penggabungan antena tunggal menjadi antena MIMO menghasilkan *return loss* yang lebih besar dari antena tunggal.

5.2 Saran

Beberapa hal yang dapat di sarankan untuk kelanjutan penelitian ini adalah perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh jarak antara antena terhadap perubahan karakteristik pada antena MIMO.



LAMPIRAN

DATA SIMULASI ANTENA TUNGGAL

Freq	Antena Perhitungan	Antena dengan Slot 1	Antena Gabungan Slot 1 dan Slot 2
1	-0.294702336	-0.398476281	-0.42678966
1.01	-0.283519035	-0.390028435	-0.430630978
1.02	-0.271793447	-0.377639826	-0.428753271
1.03	-0.2605937	-0.362895953	-0.421384555
1.04	-0.250929273	-0.347612063	-0.409193834
1.05	-0.243677136	-0.333640637	-0.393232817
1.06	-0.239519041	-0.322681621	-0.374848261
1.07	-0.238900519	-0.316112525	-0.355566935
1.08	-0.242001769	-0.31485653	-0.336971872
1.09	-0.248727908	-0.319300207	-0.320577943
1.1	-0.258717291	-0.329248833	-0.30772323
1.11	-0.271367975	-0.343945603	-0.299468332
1.12	-0.285875927	-0.362136534	-0.296528464
1.13	-0.301299914	-0.382178922	-0.29922391
1.14	-0.31661856	-0.402203009	-0.307451654
1.15	-0.330815892	-0.420293932	-0.320694802
1.16	-0.342951449	-0.434698894	-0.338051126
1.17	-0.352239457	-0.444021114	-0.358283016
1.18	-0.358109879	-0.44738252	-0.379906258
1.19	-0.360255107	-0.444534391	-0.401288408
1.2	-0.358657892	-0.43588928	-0.420771813
1.21	-0.353590908	-0.422479902	-0.436807884
1.22	-0.345591499	-0.405845145	-0.448090679
1.23	-0.335420636	-0.387849446	-0.453672868
1.24	-0.323998799	-0.370493104	-0.453057073
1.25	-0.312327377	-0.355693496	-0.446247474
1.26	-0.301421891	-0.345100287	-0.433756927
1.27	-0.292226232	-0.339932307	-0.416563289
1.28	-0.285551603	-0.340865262	-0.396023754
1.29	-0.28201702	-0.347969276	-0.37375937
1.3	-0.282009816	-0.360693033	-0.351519074
1.31	-0.285655372	-0.377908736	-0.331043371
1.32	-0.292817832	-0.398008888	-0.313927245
1.33	-0.30309827	-0.419048169	-0.301510353
1.34	-0.315870275	-0.438936834	-0.29478202
1.35	-0.330314098	-0.455648088	-0.294314221
1.36	-0.345478652	-0.46744628	-0.300220073

1.37	-0.360344828	-0.473086114	-0.312143737
1.38	-0.373906334	-0.471962649	-0.329275565
1.39	-0.385240218	-0.464194405	-0.350394047
1.4	-0.393586224	-0.450617306	-0.373943363
1.41	-0.398406656	-0.432690743	-0.398134658
1.42	-0.399434264	-0.412334397	-0.421070637
1.43	-0.396696361	-0.391719209	-0.440900624
1.44	-0.390513318	-0.373039198	-0.45596845
1.45	-0.381472815	-0.35828182	-0.464967517
1.46	-0.370385306	-0.349047329	-0.467064028
1.47	-0.358217311	-0.346386821	-0.461987532
1.48	-0.346017105	-0.350715649	-0.450057721
1.49	-0.334833714	-0.361757986	-0.432172338
1.5	-0.325645598	-0.378571083	-0.40972184
1.51	-0.319283638	-0.399609528	-0.384472785
1.52	-0.316377645	-0.422860662	-0.358415905
1.53	-0.317313692	-0.446023034	-0.333602942
1.54	-0.322204034	-0.466737897	-0.311987716
1.55	-0.330882969	-0.482833202	-0.295289128
1.56	-0.34291021	-0.492575702	-0.284866199
1.57	-0.35759701	-0.494880462	-0.281627666
1.58	-0.374051058	-0.489449126	-0.28597199
1.59	-0.391236235	-0.47682482	-0.297752514
1.6	-0.408041554	-0.458333896	-0.316276139
1.61	-0.423362547	-0.435938167	-0.340335076
1.62	-0.436188626	-0.412021794	-0.368261893
1.63	-0.445682763	-0.389128155	-0.398040561
1.64	-0.451254945	-0.369708574	-0.427427737
1.65	-0.452612394	-0.355873078	-0.45412659
1.66	-0.449791309	-0.349201307	-0.475973558
1.67	-0.443158054	-0.350593375	-0.491130851
1.68	-0.433385118	-0.360184828	-0.498265662
1.69	-0.42139587	-0.377319411	-0.496693973
1.7	-0.40829982	-0.400587976	-0.486460562
1.71	-0.395303481	-0.427928824	-0.468351617
1.72	-0.383625251	-0.45680043	-0.443826014
1.73	-0.374408141	-0.484411127	-0.414894827
1.74	-0.368638255	-0.507997352	-0.383938977
1.75	-0.367083356	-0.525130773	-0.353514519
1.76	-0.370233697	-0.534007582	-0.326150819
1.77	-0.378274998	-0.533683303	-0.304164412
1.78	-0.391065221	-0.524208788	-0.28950222

1.79	-0.408141598	-0.506644943	-0.283611459
1.8	-0.428739852	-0.482955338	-0.287347537
1.81	-0.451837832	-0.455783763	-0.300911753
1.82	-0.476214393	-0.428171113	-0.323818392
1.83	-0.500532712	-0.403235333	-0.35489715
1.84	-0.523432698	-0.383867198	-0.392336352
1.85	-0.543630399	-0.372460849	-0.433763486
1.86	-0.560028815	-0.370704912	-0.476381377
1.87	-0.571809271	-0.379427528	-0.517151868
1.88	-0.57851483	-0.398508689	-0.553029406
1.89	-0.580094242	-0.426863354	-0.581225707
1.9	-0.576928681	-0.462491294	-0.599492382
1.91	-0.569801896	-0.502605474	-0.606357604
1.92	-0.559860817	-0.543848127	-0.601316651
1.93	-0.54852567	-0.58259216	-0.584912486
1.94	-0.537394055	-0.615309543	-0.558709917
1.95	-0.528133565	-0.638977199	-0.525166706
1.96	-0.52236864	-0.651464401	-0.487407617
1.97	-0.521584899	-0.65183879	-0.448965887
1.98	-0.527031592	-0.640531884	-0.413492981
1.99	-0.539652569	-0.619331732	-0.384507989
2	-0.560031788	-0.591200873	-0.365155457
2.01	-0.588353593	-0.559950976	-0.358025634
2.02	-0.62437905	-0.529855329	-0.365005843
2.03	-0.667456423	-0.505224408	-0.387166983
2.04	-0.716544716	-0.490024175	-0.42467966
2.05	-0.770259615	-0.487547109	-0.476758758
2.06	-0.826956529	-0.50015882	-0.541633437
2.07	-0.884836475	-0.52910788	-0.616565006
2.08	-0.942078874	-0.574402203	-0.69792577
2.09	-0.996995567	-0.634750881	-0.781351955
2.1	-1.048192756	-0.70757246	-0.862015256
2.11	-1.094731491	-0.789105497	-0.935000054
2.12	-1.136266904	-0.874641631	-0.99578386
2.13	-1.173141443	-0.958901229	-1.040764584
2.14	-1.206438608	-1.036571112	-1.067772889
2.15	-1.237977363	-1.102962343	-1.076447746
2.16	-1.270248617	-1.154711766	-1.068441662
2.17	-1.306327638	-1.19041423	-1.047371417
2.18	-1.349742063	-1.211034511	-1.018566892
2.19	-1.404354529	-1.220039067	-0.988679953
2.2	-1.474234329	-1.223206758	-0.965242938

2.21	-1.563554256	-1.228200764	-0.956265432
2.22	-1.676514683	-1.244020978	-0.969929419
2.23	-1.817275981	-1.280479529	-1.014420598
2.24	-1.989922809	-1.347788606	-1.097876774
2.25	-2.198428249	-1.456323186	-1.228470017
2.26	-2.44661186	-1.61657729	-1.414579314
2.27	-2.738071646	-1.839294002	-1.665082445
2.28	-3.076071377	-2.135772808	-1.989743561
2.29	-3.463328461	-2.518338806	-2.399763766
2.3	-3.901646794	-3.001023834	-2.908541752
2.31	-4.391302922	-3.600508607	-3.532804318
2.32	-4.930035508	-4.337482155	-4.29435729
2.33	-5.511462286	-5.238607505	-5.222972479
2.34	-6.122736911	-6.339391542	-6.361456086
2.35	-6.741450234	-7.688083826	-7.775326778
2.36	-7.332442144	-9.34919691	-9.57321377
2.37	-7.846592148	-11.39586959	-11.95641477
2.38	-8.225455525	-13.8280955	-15.36738455
2.39	-8.415136632	-16.1376523	-21.12209816
2.4	-8.386272238	-16.5788061	-32.56438205
2.41	-8.147548284	-14.64458361	-21.11001644
2.42	-7.741400278	-12.1790439	-15.39689956
2.43	-7.225694274	-10.03461798	-12.01451451
2.44	-6.655448838	-8.28908191	-9.65403101
2.45	-6.073301904	-6.874715109	-7.874133923
2.46	-5.508053716	-5.721771043	-6.473607413
2.47	-4.977158765	-4.77691684	-5.343721513
2.48	-4.49002069	-4.001037191	-4.418902562
2.49	-4.050778066	-3.365122637	-3.656400331
2.5	-3.660287277	-2.847076833	-3.026644231
2.51	-3.317415055	-2.429490694	-2.508161769
2.52	-3.019848108	-2.098117596	-2.084681857
2.53	-2.764579536	-1.840814406	-1.743369906
2.54	-2.548191097	-1.646790847	-1.473676813
2.55	-2.367015682	-1.506077825	-1.26656404
2.56	-2.217228045	-1.409169098	-1.113940399
2.57	-2.094902729	-1.346816124	-1.008266007
2.58	-1.996051865	-1.309973677	-0.942253264
2.59	-1.91667031	-1.289890051	-0.908681573
2.6	-1.852789786	-1.27834085	-0.900300297
2.61	-1.800547225	-1.267977178	-0.909833848
2.62	-1.756275817	-1.252710736	-0.930100622

2.63	-1.716605927	-1.228095238	-0.954230307
2.64	-1.678573432	-1.191559367	-0.975974237
2.65	-1.639724399	-1.142480252	-0.990052997
2.66	-1.598198105	-1.082023734	-0.992487862
2.67	-1.552784931	-1.012804052	-0.980851452
2.68	-1.502931958	-0.938416744	-0.954372429
2.69	-1.448720547	-0.862936627	-0.91386057
2.7	-1.390785379	-0.7904465	-0.861475946
2.71	-1.330214101	-0.724648797	-0.800378167
2.72	-1.268414042	-0.668585039	-0.734309302
2.73	-1.206979816	-0.624450426	-0.667196986
2.74	-1.14756268	-0.59349882	-0.602802299
2.75	-1.091749163	-0.57601617	-0.54444308
2.76	-1.040964046	-0.571347042	-0.49480992
2.77	-0.9963959	-0.577971585	-0.455850795
2.78	-0.958938222	-0.593621933	-0.428715116
2.79	-0.92915309	-0.615447186	-0.413754535
2.8	-0.907258947	-0.640226567	-0.410552188
2.81	-0.893122647	-0.664610994	-0.417986999
2.82	-0.886276199	-0.68541177	-0.434324532
2.83	-0.885935267	-0.699878118	-0.457336243
2.84	-0.89104277	-0.705950996	-0.484450318
2.85	-0.900313596	-0.702462426	-0.512921697
2.86	-0.912299415	-0.689230237	-0.540034924
2.87	-0.925459856	-0.667050137	-0.563296199
2.88	-0.938247998	-0.637580306	-0.580635541
2.89	-0.949191796	-0.603142962	-0.590557039
2.9	-0.95698667	-0.566469966	-0.592256012
2.91	-0.960570997	-0.530423847	-0.585657964
2.92	-0.95919922	-0.497748812	-0.571387989
2.93	-0.952481535	-0.470839798	-0.550681261
2.94	-0.940408323	-0.451570064	-0.52522998
2.95	-0.923349789	-0.441155974	-0.497019517
2.96	-0.902013252	-0.440091332	-0.468134341
2.97	-0.877399296	-0.448106292	-0.440594253
2.98	-0.850723129	-0.464192597	-0.416202671
2.99	-0.823334212	-0.486662105	-0.396431438
3	-0.796631942	-0.513267019	-0.382343102

DATA PENGUKURAN RETURN LOSS S11 ANTENA KIRI

req	S11aKIRI	S11bKIRI	S11cKIRI	S11dKIRI	S11eKIRI
1	-0.09999	-0.08395	-0.08631	-0.08483	-0.08904
1.01	-0.11062	-0.09495	-0.09132	-0.08922	-0.09812
1.02	-0.11961	-0.10747	-0.1003	-0.104	-0.11265
1.03	-0.08935	-0.07164	-0.08012	-0.07914	-0.09225
1.04	-0.06215	-0.04637	-0.06229	-0.05499	-0.06359
1.05	-0.0634	-0.06009	-0.05752	-0.05365	-0.06287
1.06	-0.06524	-0.06289	-0.05921	-0.06091	-0.06335
1.07	-0.05777	-0.06058	-0.05856	-0.0552	-0.06348
1.08	-0.0525	-0.05836	-0.0549	-0.05444	-0.05819
1.09	-0.04182	-0.04012	-0.04643	-0.03313	-0.04661
1.1	-0.03696	-0.03852	-0.03775	-0.02529	-0.04146
1.11	-0.03548	-0.03377	-0.03425	-0.03226	-0.04111
1.12	-0.05842	-0.04314	-0.04831	-0.04159	-0.05601
1.13	-0.0771	-0.06843	-0.06543	-0.05952	-0.06983
1.14	-0.08085	-0.07163	-0.0705	-0.06133	-0.06989
1.15	-0.07676	-0.07319	-0.06972	-0.06293	-0.0646
1.16	-0.08508	-0.08304	-0.07246	-0.07497	-0.07228
1.17	-0.10472	-0.09105	-0.09268	-0.08438	-0.10159
1.18	-0.12881	-0.11342	-0.11424	-0.11028	-0.11773
1.19	-0.13119	-0.11752	-0.12506	-0.11537	-0.1226
1.2	-0.13171	-0.12268	-0.12356	-0.12533	-0.12273
1.21	-0.12766	-0.12235	-0.1232	-0.11494	-0.11439
1.22	-0.13772	-0.13293	-0.13866	-0.12938	-0.13313
1.23	-0.13441	-0.13229	-0.13403	-0.12532	-0.12723
1.24	-0.13384	-0.12982	-0.13275	-0.11746	-0.13223
1.25	-0.11989	-0.11446	-0.1187	-0.10935	-0.11419
1.26	-0.09857	-0.09243	-0.09387	-0.09131	-0.09208
1.27	-0.08068	-0.07817	-0.08612	-0.07379	-0.08226
1.28	-0.08456	-0.08393	-0.08716	-0.07414	-0.09139
1.29	-0.09058	-0.09314	-0.09014	-0.08216	-0.10154
1.3	-0.09537	-0.09564	-0.09102	-0.08885	-0.10355
1.31	-0.0899	-0.08872	-0.09533	-0.08297	-0.10338
1.32	-0.10018	-0.09892	-0.09974	-0.09875	-0.11552
1.33	-0.12068	-0.11829	-0.1289	-0.11712	-0.13235
1.34	-0.14582	-0.14848	-0.15074	-0.13706	-0.15422
1.35	-0.17924	-0.17747	-0.1811	-0.16687	-0.18227
1.36	-0.19463	-0.19063	-0.19652	-0.18146	-0.20749
1.37	-0.21399	-0.20764	-0.20936	-0.20512	-0.22176
1.38	-0.20952	-0.20789	-0.21348	-0.20447	-0.21418

1.39	-0.22894	-0.21961	-0.23015	-0.22051	-0.23118
1.4	-0.23224	-0.2243	-0.2252	-0.22841	-0.2417
1.41	-0.22125	-0.2254	-0.22587	-0.21698	-0.2302
1.42	-0.2132	-0.20181	-0.20262	-0.20499	-0.22422
1.43	-0.18137	-0.18821	-0.1886	-0.17687	-0.19419
1.44	-0.18541	-0.17868	-0.17923	-0.17565	-0.18959
1.45	-0.17499	-0.17128	-0.16846	-0.16591	-0.17406
1.46	-0.16722	-0.16033	-0.16967	-0.15402	-0.16731
1.47	-0.16713	-0.15964	-0.1632	-0.14858	-0.16687
1.48	-0.16179	-0.14357	-0.14519	-0.14638	-0.16133
1.49	-0.16195	-0.15022	-0.14694	-0.14373	-0.15109
1.5	-0.1848	-0.17852	-0.17595	-0.16445	-0.1803
1.51	-0.20214	-0.19661	-0.18745	-0.18961	-0.19361
1.52	-0.20131	-0.19235	-0.19484	-0.18821	-0.19989
1.53	-0.20607	-0.20163	-0.20266	-0.19254	-0.20291
1.54	-0.22218	-0.21787	-0.2102	-0.20568	-0.20965
1.55	-0.24932	-0.23212	-0.24487	-0.23643	-0.23303
1.56	-0.25706	-0.24629	-0.24752	-0.26254	-0.25187
1.57	-0.27958	-0.27251	-0.27133	-0.27497	-0.27569
1.58	-0.27899	-0.27625	-0.27894	-0.2735	-0.27178
1.59	-0.26804	-0.26952	-0.25473	-0.25532	-0.26984
1.6	-0.26053	-0.26104	-0.252	-0.2479	-0.25928
1.61	-0.24962	-0.25551	-0.2496	-0.24305	-0.25341
1.62	-0.23598	-0.236	-0.2335	-0.22705	-0.24219
1.63	-0.22931	-0.22195	-0.21466	-0.21618	-0.2264
1.64	-0.20336	-0.20533	-0.19479	-0.19288	-0.21167
1.65	-0.17275	-0.17956	-0.17873	-0.17419	-0.17254
1.66	-0.17039	-0.1778	-0.18028	-0.17215	-0.17579
1.67	-0.16571	-0.16624	-0.16175	-0.15746	-0.16793
1.68	-0.18032	-0.18176	-0.17587	-0.17077	-0.17997
1.69	-0.1926	-0.19483	-0.19074	-0.18177	-0.19919
1.7	-0.20966	-0.21502	-0.21247	-0.20401	-0.2133
1.71	-0.22591	-0.24046	-0.23265	-0.22096	-0.24596
1.72	-0.26064	-0.26191	-0.26298	-0.24937	-0.26099
1.73	-0.28949	-0.28855	-0.28838	-0.27786	-0.29589
1.74	-0.3097	-0.31422	-0.30518	-0.30705	-0.31137
1.75	-0.3329	-0.33217	-0.32795	-0.32723	-0.33597
1.76	-0.34959	-0.3508	-0.34327	-0.3431	-0.35208
1.77	-0.35482	-0.35307	-0.35006	-0.34975	-0.36037
1.78	-0.35295	-0.35554	-0.35059	-0.34787	-0.35851
1.79	-0.3532	-0.34848	-0.35502	-0.34864	-0.36059
1.8	-0.34184	-0.33828	-0.32909	-0.33199	-0.33391

1.81	-0.338	-0.3238	-0.32338	-0.32384	-0.33295
1.82	-0.30778	-0.30406	-0.2994	-0.30172	-0.31227
1.83	-0.29528	-0.29507	-0.29006	-0.29745	-0.29286
1.84	-0.29035	-0.28124	-0.28285	-0.2848	-0.2886
1.85	-0.29185	-0.28792	-0.28518	-0.28552	-0.28837
1.86	-0.30037	-0.2958	-0.30006	-0.30003	-0.29073
1.87	-0.30227	-0.30403	-0.30338	-0.29761	-0.29109
1.88	-0.31804	-0.31751	-0.31184	-0.31314	-0.30955
1.89	-0.35068	-0.34585	-0.33736	-0.33707	-0.33269
1.9	-0.36771	-0.37259	-0.35961	-0.3727	-0.36017
1.91	-0.40228	-0.39676	-0.39242	-0.40557	-0.39192
1.92	-0.43221	-0.43629	-0.42522	-0.44078	-0.41989
1.93	-0.46351	-0.46273	-0.45917	-0.46886	-0.45113
1.94	-0.50017	-0.51244	-0.49323	-0.50701	-0.4907
1.95	-0.50788	-0.51974	-0.51866	-0.52876	-0.50746
1.96	-0.53107	-0.54194	-0.5325	-0.54545	-0.51004
1.97	-0.53124	-0.53606	-0.51612	-0.54128	-0.51474
1.98	-0.52001	-0.5298	-0.53002	-0.53842	-0.51346
1.99	-0.51998	-0.52303	-0.52139	-0.52458	-0.50337
2	-0.52799	-0.54792	-0.53924	-0.54685	-0.5163
2.01	-0.48907	-0.50921	-0.48893	-0.50255	-0.48093
2.02	-0.50783	-0.52183	-0.52262	-0.51503	-0.47864
2.03	-0.47399	-0.51812	-0.50322	-0.5103	-0.47672
2.04	-0.47646	-0.51876	-0.50224	-0.53072	-0.48416
2.05	-0.50787	-0.52974	-0.52007	-0.5359	-0.48915
2.06	-0.51882	-0.54612	-0.5475	-0.52154	-0.50056
2.07	-0.55773	-0.59777	-0.56983	-0.57765	-0.53705
2.08	-0.57514	-0.6211	-0.59592	-0.60164	-0.55006
2.09	-0.60911	-0.64743	-0.627	-0.63436	-0.59165
2.1	-0.6553	-0.72255	-0.6896	-0.70257	-0.6403
2.11	-0.71384	-0.79683	-0.7366	-0.75183	-0.71223
2.12	-0.77091	-0.85909	-0.79373	-0.80944	-0.76073
2.13	-0.82061	-0.88617	-0.86318	-0.85988	-0.79519
2.14	-0.84924	-0.9313	-0.9063	-0.89581	-0.84312
2.15	-0.88548	-0.97013	-0.93049	-0.93417	-0.88317
2.16	-0.9157	-1.01038	-0.97121	-0.97144	-0.92149
2.17	-0.91478	-1.0129	-0.9738	-0.9683	-0.93074
2.18	-0.96923	-1.0452	-1.00797	-1.00245	-0.95337
2.19	-0.96096	-1.0805	-1.01967	-1.02943	-0.97626
2.2	-1.01019	-1.13627	-1.05887	-1.08374	-1.01634
2.21	-1.04771	-1.15476	-1.11333	-1.11411	-1.06316
2.22	-1.11151	-1.22767	-1.19221	-1.17645	-1.14212

2.23	-1.1707	-1.318	-1.28488	-1.26702	-1.20734
2.24	-1.28413	-1.44641	-1.41361	-1.39904	-1.32618
2.25	-1.40792	-1.60778	-1.57364	-1.55448	-1.46303
2.26	-1.5815	-1.79162	-1.76249	-1.72382	-1.6487
2.27	-1.77525	-2.01888	-1.98304	-1.94487	-1.85166
2.28	-2.01812	-2.29004	-2.26924	-2.23302	-2.12117
2.29	-2.31324	-2.62851	-2.65799	-2.58725	-2.45741
2.3	-2.65203	-3.02085	-3.09235	-2.97212	-2.83079
2.31	-3.07513	-3.51104	-3.62475	-3.47118	-3.30407
2.32	-3.55052	-4.06479	-4.24333	-4.01712	-3.8513
2.33	-4.12366	-4.73386	-4.99986	-4.67942	-4.52978
2.34	-4.80278	-5.60675	-5.9606	-5.53846	-5.37762
2.35	-5.70133	-6.77475	-7.3057	-6.69598	-6.52804
2.36	-6.96199	-8.31894	-9.12944	-8.27785	-8.08211
2.37	-8.63747	-10.527	-11.7125	-10.4708	-10.3161
2.38	-11.0743	-13.9763	-15.8099	-13.7414	-13.7573
2.39	-14.8801	-19.5219	-22.3553	-18.5647	-19.3288
2.4	-20.7051	-20.8513	-19.186	-19.282	-20.9684
2.41	-19.2202	-14.713	-13.3637	-14.0451	-14.74
2.42	-13.6009	-10.7114	-9.89531	-10.3304	-10.7206
2.43	-10.0298	-8.10435	-7.63718	-7.83079	-8.16244
2.44	-7.68196	-6.31882	-6.02269	-6.10183	-6.39496
2.45	-6.08491	-5.06857	-4.87568	-4.85306	-5.16749
2.46	-4.95385	-4.14593	-4.01886	-3.98515	-4.24526
2.47	-4.05311	-3.43785	-3.36241	-3.26925	-3.54587
2.48	-3.41676	-2.89162	-2.86301	-2.75264	-3.01219
2.49	-2.93967	-2.50675	-2.49567	-2.39123	-2.61404
2.5	-2.56276	-2.20703	-2.20528	-2.09585	-2.31805
2.51	-2.25667	-1.95311	-1.96367	-1.85245	-2.05716
2.52	-2.03872	-1.77851	-1.79385	-1.68927	-1.88946
2.53	-1.83345	-1.61944	-1.62546	-1.51522	-1.6991
2.54	-1.68647	-1.48996	-1.49873	-1.42008	-1.58291
2.55	-1.54592	-1.36189	-1.40473	-1.30486	-1.45702
2.56	-1.41584	-1.2759	-1.31033	-1.20894	-1.34047
2.57	-1.29937	-1.17115	-1.20376	-1.1196	-1.24566
2.58	-1.17395	-1.05546	-1.09592	-1.01387	-1.12688
2.59	-1.05066	-0.9648	-0.99233	-0.91346	-1.02285
2.6	-0.95613	-0.8799	-0.92531	-0.85726	-0.94175
2.61	-0.87801	-0.79428	-0.82604	-0.76182	-0.85622
2.62	-0.81347	-0.73599	-0.76935	-0.68981	-0.77144
2.63	-0.72714	-0.68024	-0.69455	-0.62733	-0.7391
2.64	-0.68194	-0.61928	-0.64181	-0.58379	-0.65935

2.65	-0.6482	-0.57921	-0.62009	-0.55641	-0.63751
2.66	-0.63369	-0.56798	-0.60042	-0.54569	-0.61936
2.67	-0.62247	-0.55983	-0.59125	-0.52841	-0.61459
2.68	-0.63607	-0.5745	-0.60802	-0.55779	-0.62192
2.69	-0.635	-0.57097	-0.60768	-0.56007	-0.62307
2.7	-0.65629	-0.5896	-0.6325	-0.57377	-0.64406
2.71	-0.67045	-0.62434	-0.63376	-0.59841	-0.66683
2.72	-0.703	-0.63251	-0.68101	-0.61668	-0.69185
2.73	-0.70633	-0.6524	-0.69433	-0.62916	-0.70348
2.74	-0.70487	-0.6364	-0.68185	-0.61916	-0.69097
2.75	-0.7272	-0.65059	-0.71022	-0.63875	-0.70546
2.76	-0.70913	-0.62449	-0.67914	-0.60692	-0.6844
2.77	-0.68874	-0.60822	-0.6506	-0.59736	-0.65609
2.78	-0.71211	-0.59098	-0.64297	-0.56306	-0.63922
2.79	-0.71961	-0.58417	-0.64851	-0.56128	-0.60894
2.8	-0.75424	-0.55556	-0.63444	-0.56567	-0.60488
2.81	-0.75815	-0.53681	-0.60226	-0.54137	-0.54923
2.82	-0.77028	-0.54348	-0.57821	-0.54785	-0.53761
2.83	-0.70684	-0.49732	-0.51331	-0.49224	-0.46928
2.84	-0.64808	-0.47336	-0.48902	-0.46837	-0.45562
2.85	-0.56469	-0.43625	-0.4518	-0.41432	-0.43386
2.86	-0.51737	-0.4276	-0.42686	-0.4228	-0.41144
2.87	-0.50368	-0.44319	-0.45076	-0.43155	-0.42553
2.88	-0.50802	-0.44622	-0.45467	-0.44572	-0.44042
2.89	-0.51622	-0.47343	-0.47922	-0.46932	-0.47047
2.9	-0.5327	-0.50093	-0.51223	-0.488	-0.49474
2.91	-0.54371	-0.51983	-0.51365	-0.51174	-0.51762
2.92	-0.55392	-0.51808	-0.53886	-0.50782	-0.52013
2.93	-0.52447	-0.52982	-0.5438	-0.5279	-0.51936
2.94	-0.52331	-0.52175	-0.5255	-0.4939	-0.51413
2.95	-0.49305	-0.4829	-0.4974	-0.47557	-0.48439
2.96	-0.45373	-0.45604	-0.4639	-0.44697	-0.45255
2.97	-0.41766	-0.42247	-0.42334	-0.40605	-0.4203
2.98	-0.39958	-0.39955	-0.40701	-0.39118	-0.39748
2.99	-0.35554	-0.35675	-0.36277	-0.34261	-0.35352
3	-0.32949	-0.32869	-0.34154	-0.31999	-0.32327

DATA PENGUKURAN RETURN LOSS S21 ANTENA KIRI

freq	S21aKIRI	S21bKIRI	S21cKIRI	S21dKIRI	S21eKIRI
1	-44.8509	-46.2862	-46.9256	-46.2825	-47.97944
1.01	-44.2399	-46.1915	-46.8361	-46.3241	-47.7095
1.02	-44.7464	-46.0427	-46.6462	-46.2159	-47.30186
1.03	-46.8331	-46.6805	-47.2387	-46.8359	-47.91273
1.04	-49.0064	-47.9607	-48.3414	-48.2312	-49.62427
1.05	-50.0061	-48.6052	-49.0918	-49.021	-50.69112
1.06	-50.0785	-49.0409	-49.7072	-49.526	-51.39443
1.07	-49.7381	-49.1639	-49.9425	-49.8571	-51.59766
1.08	-49.4271	-48.9378	-49.7541	-49.9385	-51.73163
1.09	-49.2876	-48.9095	-49.8111	-49.8391	-51.99004
1.1	-49.5138	-49.3371	-50.4115	-50.3273	-52.64431
1.11	-49.6712	-49.8174	-50.9382	-50.9101	-53.70255
1.12	-49.7722	-49.912	-51.2083	-51.08	-54.14908
1.13	-50.4363	-50.2227	-51.5342	-51.5026	-54.50089
1.14	-51.2972	-50.888	-52.0861	-51.8915	-54.30127
1.15	-51.8865	-51.614	-52.1927	-52.042	-53.74277
1.16	-52.2272	-51.7354	-51.6455	-51.699	-53.00845
1.17	-52.343	-51.7388	-51.3712	-51.4889	-52.50434
1.18	-52.7854	-52.0846	-51.3372	-51.5836	-52.16079
1.19	-52.9343	-52.0358	-51.2886	-51.4154	-51.57625
1.2	-52.4349	-51.4641	-50.6508	-50.7536	-50.69215
1.21	-52.0297	-50.8878	-50.0918	-50.2655	-49.97747
1.22	-51.9159	-50.5538	-49.8063	-49.8715	-49.35363
1.23	-51.563	-49.9622	-49.4063	-49.387	-48.4582
1.24	-50.5296	-48.9803	-48.5325	-48.5813	-47.54246
1.25	-49.6955	-48.2346	-47.9803	-47.9369	-46.94387
1.26	-49.2329	-47.6815	-47.6167	-47.6219	-46.70528
1.27	-49.1353	-47.6659	-47.6655	-47.6008	-46.72153
1.28	-49.3154	-48.2557	-48.2881	-48.0556	-47.09692
1.29	-49.3758	-48.5145	-48.5304	-48.3609	-47.49091
1.3	-48.8415	-48.5926	-48.4692	-48.4879	-47.63076
1.31	-48.4464	-48.3971	-48.2707	-48.287	-47.63363
1.32	-48.1659	-48.1853	-48.1767	-48.0752	-47.54434
1.33	-48.0205	-48.1603	-48.2283	-48.062	-47.64668
1.34	-47.8345	-48.3211	-48.0982	-48.1477	-47.86814
1.35	-47.7437	-48.5408	-48.0421	-48.1464	-48.01302
1.36	-47.8321	-48.7025	-48.0041	-48.1538	-48.14158
1.37	-48.0035	-48.9182	-48.1681	-48.3992	-48.47977
1.38	-47.954	-48.8193	-48.3076	-48.4382	-48.67638

1.39	-48.186	-48.8333	-48.4557	-48.4881	-48.98415
1.4	-47.8886	-48.6626	-48.1392	-48.2234	-48.74878
1.41	-47.5634	-48.2227	-47.6414	-47.8182	-48.33787
1.42	-47.5011	-47.8852	-47.3212	-47.4872	-48.05584
1.43	-47.7012	-47.7115	-47.3489	-47.3438	-48.32279
1.44	-48.1192	-47.9049	-47.5688	-47.5609	-48.83048
1.45	-48.1367	-47.8237	-47.4607	-47.406	-48.82164
1.46	-47.7231	-47.6168	-47.1866	-47.1521	-48.62123
1.47	-47.2757	-47.1895	-46.8292	-46.7735	-48.42802
1.48	-47.0657	-47.0139	-46.6136	-46.6598	-48.45516
1.49	-47.4049	-47.1623	-46.8526	-46.9666	-48.79197
1.5	-47.8307	-47.2456	-47.0648	-47.1993	-49.15834
1.51	-48.3393	-47.5114	-47.4159	-47.5056	-49.45072
1.52	-48.6684	-47.7696	-48.026	-48.2299	-49.8908
1.53	-49.2833	-48.331	-48.7827	-48.817	-50.54344
1.54	-50.2883	-49.2864	-49.8624	-49.8176	-51.42161
1.55	-51.0534	-49.9974	-50.5977	-50.5014	-51.93445
1.56	-51.7624	-50.4438	-50.9049	-50.9348	-52.11905
1.57	-52.1709	-50.4628	-50.9322	-50.9224	-51.83845
1.58	-51.9884	-50.0256	-50.7183	-50.612	-51.04884
1.59	-51.3546	-49.4635	-50.2121	-49.9551	-50.33781
1.6	-50.6119	-49.0465	-49.6401	-49.3762	-49.80134
1.61	-50.2258	-48.6793	-49.4693	-49.0017	-49.3468
1.62	-50.5318	-48.9599	-49.7808	-49.4592	-49.67396
1.63	-50.8957	-49.4005	-50.1163	-49.9505	-49.87932
1.64	-50.9565	-49.74	-50.3121	-50.2399	-49.75513
1.65	-51.1417	-49.7523	-50.2391	-50.1278	-49.54454
1.66	-51.3006	-49.7576	-50.1797	-50.0274	-49.60365
1.67	-51.3923	-49.7774	-50.2586	-50.2416	-49.71742
1.68	-51.492	-50.1311	-50.8368	-50.7236	-50.18344
1.69	-52.0362	-51.0077	-51.4862	-51.3242	-50.62506
1.7	-52.9461	-51.6945	-51.8794	-51.955	-50.64984
1.71	-53.0535	-51.719	-51.9148	-51.7913	-50.48893
1.72	-52.8454	-51.2533	-51.7111	-51.634	-50.42503
1.73	-52.9182	-51.2454	-51.7204	-51.6343	-50.4208
1.74	-53.1185	-51.305	-51.9701	-51.7209	-50.54659
1.75	-53.0846	-51.208	-51.9314	-51.5273	-50.55983
1.76	-52.8984	-50.8802	-51.4303	-51.2918	-50.04672
1.77	-52.3552	-50.7066	-51.356	-51.13	-50.00806
1.78	-52.5079	-51.0101	-51.8652	-51.757	-50.79232
1.79	-52.6926	-51.3716	-52.5519	-52.1825	-51.62407
1.8	-52.7086	-51.6867	-52.9332	-52.2886	-51.96426

1.81	-53.127	-52.221	-53.3809	-52.5635	-52.54359
1.82	-54.0623	-53.1013	-53.8249	-53.1536	-53.47245
1.83	-53.9017	-53.667	-54.373	-53.8149	-54.00278
1.84	-53.4358	-53.375	-54.2656	-53.528	-53.7053
1.85	-52.537	-53.1724	-54.0199	-53.6712	-53.94026
1.86	-52.3675	-53.9012	-54.015	-53.9889	-54.1354
1.87	-52.4431	-53.5698	-54.0089	-54.0036	-54.49818
1.88	-52.6696	-54.1189	-54.3954	-54.4199	-54.82959
1.89	-53.5984	-55.1875	-54.9677	-55.0374	-55.24587
1.9	-54.5633	-56.643	-56.5141	-56.8146	-56.12951
1.91	-54.7596	-56.7419	-56.6603	-56.6057	-55.60658
1.92	-54.6979	-56.2893	-56.2174	-56.143	-55.5187
1.93	-54.6567	-55.2151	-56.1033	-55.5229	-55.35882
1.94	-54.6877	-54.8651	-56.2156	-55.6651	-55.35162
1.95	-55.0468	-54.4988	-56.6503	-55.9089	-55.3811
1.96	-55.6013	-54.9783	-56.6111	-56.4544	-55.45511
1.97	-54.9898	-54.8527	-56.0043	-55.7863	-54.83501
1.98	-54.6574	-54.3091	-55.7716	-55.6608	-54.52838
1.99	-55.3531	-53.8339	-56.2596	-56.0038	-54.7415
2	-56.1201	-54.1784	-56.9262	-57.183	-55.13359
2.01	-55.9951	-54.1124	-56.0052	-57.1571	-54.61927
2.02	-54.7508	-53.8877	-54.7468	-56.256	-53.90561
2.03	-54.6605	-53.8657	-54.3697	-56.5256	-53.84223
2.04	-55.5651	-54.2606	-54.4047	-56.9264	-54.21077
2.05	-55.9365	-54.5776	-54.458	-57.5856	-54.5736
2.06	-56.7367	-55.0625	-54.6258	-58.1254	-55.13002
2.07	-56.4564	-54.8106	-54.5189	-58.032	-55.09137
2.08	-55.8776	-54.3465	-54.166	-57.6262	-54.69415
2.09	-55.9748	-53.9162	-53.8482	-57.3651	-54.33453
2.1	-55.6171	-53.4765	-53.4346	-57.5139	-54.06467
2.11	-56.0781	-53.8287	-53.6778	-57.6595	-54.14943
2.12	-56.8037	-53.947	-53.6916	-57.3727	-53.42342
2.13	-57.2273	-53.7997	-53.0334	-57.4799	-53.43314
2.14	-57.3502	-55.074	-53.762	-57.6741	-53.04539
2.15	-57.7989	-54.9466	-54.0255	-56.6736	-52.11024
2.16	-57.081	-55.1832	-53.6973	-56.0865	-51.36578
2.17	-57.6199	-57.012	-54.6492	-56.4314	-51.77207
2.18	-58.7343	-58.6815	-56.3188	-57.1231	-52.58348
2.19	-57.983	-58.3148	-57.8937	-56.4002	-52.86563
2.2	-55.4808	-56.4678	-56.4548	-53.1732	-52.00916
2.21	-54.7198	-55.9122	-54.9702	-52.0315	-51.31986
2.22	-54.7472	-58.9356	-54.8562	-51.989	-51.42515

2.23	-51.8658	-58.9793	-53.1616	-50.6018	-50.31416
2.24	-49.2322	-58.7247	-52.0194	-49.5901	-50.38538
2.25	-46.8253	-55.2831	-48.7767	-47.112	-48.45901
2.26	-45.3211	-54.4557	-46.8515	-46.0048	-47.17044
2.27	-44.415	-55.5365	-46.5371	-46.1009	-46.22286
2.28	-43.5072	-55.4906	-46.0775	-46.1003	-45.39041
2.29	-41.6038	-52.7098	-44.009	-44.0294	-43.60975
2.3	-39.9767	-50.2451	-42.3702	-42.4815	-42.17088
2.31	-38.8498	-47.5338	-40.9866	-41.0258	-40.55781
2.32	-37.9873	-45.6183	-40.4754	-40.1344	-39.5937
2.33	-37.0588	-44.0282	-39.7384	-38.996	-38.61991
2.34	-36.3182	-42.5869	-38.7668	-38.079	-37.75126
2.35	-35.5147	-40.243	-37.6785	-36.6118	-36.54406
2.36	-34.9271	-38.4862	-36.9279	-35.5469	-35.75883
2.37	-34.0954	-36.7434	-35.8456	-34.4154	-34.80906
2.38	-33.7745	-35.7779	-35.2042	-33.8506	-34.22188
2.39	-33.6674	-35.5134	-34.9078	-33.5272	-33.91538
2.4	-34.3944	-35.9418	-35.3355	-34.0826	-34.48574
2.41	-35.6813	-37.0791	-36.1749	-34.9367	-35.27462
2.42	-36.9971	-38.5513	-37.2129	-36.0054	-36.01595
2.43	-38.1373	-39.0618	-38.1293	-36.7372	-36.86501
2.44	-38.9383	-39.5336	-39.0282	-37.5092	-37.87669
2.45	-39.8966	-40.5294	-40.0812	-38.5744	-39.11206
2.46	-41.9689	-42.2159	-42.196	-40.397	-40.95829
2.47	-44.2574	-44.0279	-44.4622	-42.3906	-42.79113
2.48	-46.0909	-45.8076	-46.1734	-43.7312	-44.22519
2.49	-48.0491	-47.6507	-47.6325	-44.9162	-45.65008
2.5	-49.9232	-48.7332	-48.7199	-45.6854	-47.06662
2.51	-51.1691	-48.9708	-48.9288	-46.0757	-48.14773
2.52	-51.1034	-48.5858	-48.3128	-45.9135	-48.30003
2.53	-50.9218	-48.6026	-48.1117	-45.9864	-48.3485
2.54	-52.0576	-49.7257	-49.5459	-47.3312	-49.44838
2.55	-54.3868	-51.3371	-51.4061	-48.7915	-50.9931
2.56	-56.9001	-53.2616	-53.3846	-50.5449	-53.15237
2.57	-57.3284	-54.1298	-53.7473	-51.7203	-54.87483
2.58	-56.697	-54.4142	-54.0604	-52.4629	-56.3406
2.59	-56.6052	-54.8652	-54.3124	-53.3087	-56.56246
2.6	-57.885	-55.9043	-55.3892	-54.2846	-57.35298
2.61	-59.9721	-57.814	-56.8556	-55.6092	-58.97813
2.62	-62.3726	-59.1852	-59.2679	-57.5977	-61.08714
2.63	-63.5971	-61.3763	-60.949	-59.466	-63.17176
2.64	-62.8984	-61.2959	-61.3463	-60.1051	-63.24637

2.65	-63.5702	-62.4303	-61.4202	-60.4197	-63.44168
2.66	-64.2718	-63.5898	-62.0002	-61.1496	-64.53402
2.67	-65.963	-64.8521	-63.1768	-62.0683	-66.58249
2.68	-67.3107	-66.6818	-63.8923	-63.7018	-68.85054
2.69	-68.3034	-67.1768	-65.078	-65.2016	-72.29762
2.7	-69.7603	-69.5706	-66.3909	-66.7495	-71.8946
2.71	-72.5404	-70.9805	-67.6506	-68.3977	-75.16921
2.72	-73.8847	-73.9834	-68.9047	-71.3247	-76.9055
2.73	-72.2705	-74.2863	-69.9844	-76.3522	-75.27034
2.74	-70.4431	-73.7733	-70.4588	-76.7578	-73.82774
2.75	-68.5488	-74.5436	-72.0001	-76.5405	-73.36923
2.76	-66.2075	-77.2672	-76.6471	-84.3305	-71.47732
2.77	-62.8135	-73.4159	-72.1076	-78.0378	-69.21979
2.78	-60.948	-68.3747	-65.9412	-71.5197	-66.53789
2.79	-59.5646	-64.967	-62.6083	-68.5679	-64.09656
2.8	-58.8722	-63.7067	-60.9162	-66.148	-63.6258
2.81	-58.9206	-63.5131	-60.314	-65.7812	-63.386
2.82	-59.9103	-64.5697	-61.4843	-65.3311	-63.93854
2.83	-61.3664	-67.1083	-62.959	-66.6257	-65.76328
2.84	-63.6853	-69.0217	-65.3083	-68.104	-68.60404
2.85	-65.2467	-71.6524	-67.3093	-70.6137	-69.94518
2.86	-66.9575	-73.5603	-69.036	-71.451	-72.76729
2.87	-67.7211	-77.0814	-70.5635	-72.7541	-72.49581
2.88	-69.5296	-78.1366	-73.3922	-71.8496	-75.03127
2.89	-70.8598	-84.1094	-73.6884	-73.356	-75.22039
2.9	-72.1029	-80.7186	-75.0294	-73.248	-76.31365
2.91	-72.9354	-85.995	-77.0621	-74.129	-75.79499
2.92	-71.9134	-81.3964	-76.542	-72.5364	-77.53036
2.93	-71.0013	-79.0942	-77.2222	-72.4004	-75.81214
2.94	-70.139	-78.7859	-74.7064	-73.1423	-75.16322
2.95	-70.3134	-76.4109	-75.6225	-72.2547	-75.62646
2.96	-72.0122	-77.2271	-75.4186	-74.5377	-75.06525
2.97	-70.7636	-75.5909	-75.584	-73.5608	-76.47838
2.98	-70.9489	-77.1663	-75.6317	-73.452	-76.45333
2.99	-71.4947	-76.084	-75.0803	-73.268	-76.42377
3	-70.7862	-76.4019	-73.8965	-73.962	-76.72134

DATA PENGUKURAN RETURN LOSS S11 ANTENA KANAN

freq	S11aKANAN	S11bKANAN	S11cKANAN	S11dKANAN	S11eKANAN
1	-0.10243	-0.21127	-0.16546	-0.32382	-0.41099
1.01	-0.11217	-0.19225	-0.17478	-0.18686	-0.5403
1.02	-0.11279	-0.14914	-0.15024	-0.13622	-0.37547
1.03	-0.09277	-0.08212	-0.0926	-0.09903	-0.20519
1.04	-0.06962	-0.05043	-0.06226	-0.06102	-0.13663
1.05	-0.06855	-0.05844	-0.06131	-0.06371	-0.1281
1.06	-0.07267	-0.06313	-0.0656	-0.0623	-0.12263
1.07	-0.07419	-0.05861	-0.06249	-0.05519	-0.11546
1.08	-0.06419	-0.04858	-0.05884	-0.05495	-0.11409
1.09	-0.04811	-0.03978	-0.05284	-0.04605	-0.08755
1.1	-0.04309	-0.03502	-0.03616	-0.02679	-0.08683
1.11	-0.03313	-0.03761	-0.04438	-0.03476	-0.08648
1.12	-0.05005	-0.04603	-0.05699	-0.04886	-0.101
1.13	-0.06496	-0.06372	-0.07351	-0.06731	-0.12287
1.14	-0.06662	-0.07549	-0.07958	-0.07333	-0.12508
1.15	-0.05887	-0.06245	-0.07384	-0.06894	-0.12315
1.16	-0.07029	-0.06857	-0.08548	-0.07608	-0.13808
1.17	-0.0852	-0.08785	-0.08838	-0.10934	-0.15136
1.18	-0.10437	-0.11527	-0.10951	-0.11928	-0.17249
1.19	-0.11332	-0.12348	-0.12922	-0.11979	-0.17932
1.2	-0.11389	-0.11569	-0.12922	-0.12205	-0.18005
1.21	-0.10755	-0.11176	-0.11781	-0.11542	-0.1844
1.22	-0.11992	-0.12289	-0.12943	-0.13225	-0.2008
1.23	-0.11302	-0.11847	-0.12597	-0.12826	-0.20182
1.24	-0.10797	-0.12047	-0.12772	-0.12546	-0.19435
1.25	-0.09685	-0.10491	-0.11479	-0.11679	-0.17593
1.26	-0.07063	-0.09673	-0.09848	-0.09946	-0.17383
1.27	-0.06432	-0.07084	-0.08495	-0.08446	-0.15732
1.28	-0.06732	-0.07933	-0.08627	-0.09135	-0.16612
1.29	-0.08232	-0.08352	-0.09651	-0.10284	-0.16801
1.3	-0.08483	-0.08424	-0.10229	-0.10194	-0.17477
1.31	-0.08502	-0.08179	-0.10138	-0.11043	-0.18061
1.32	-0.09019	-0.09014	-0.11703	-0.12221	-0.18881
1.33	-0.10768	-0.10439	-0.1315	-0.13683	-0.20196
1.34	-0.13899	-0.15223	-0.15538	-0.16321	-0.23704
1.35	-0.16217	-0.16509	-0.18597	-0.19292	-0.266
1.36	-0.1822	-0.18098	-0.2044	-0.21148	-0.29175
1.37	-0.19093	-0.19624	-0.21366	-0.22764	-0.31345
1.38	-0.19486	-0.19221	-0.21234	-0.22239	-0.30859

1.39	-0.20664	-0.20823	-0.22268	-0.25097	-0.32962
1.4	-0.21385	-0.21766	-0.23563	-0.264	-0.34653
1.41	-0.20666	-0.1997	-0.22534	-0.24855	-0.33788
1.42	-0.18398	-0.18675	-0.21053	-0.22789	-0.32105
1.43	-0.15951	-0.16698	-0.18399	-0.21263	-0.31471
1.44	-0.16202	-0.15628	-0.17758	-0.20889	-0.30571
1.45	-0.15168	-0.15142	-0.17355	-0.2039	-0.29908
1.46	-0.14169	-0.14384	-0.16983	-0.20296	-0.28822
1.47	-0.13275	-0.13456	-0.15916	-0.20047	-0.28904
1.48	-0.12488	-0.1259	-0.15587	-0.1805	-0.28531
1.49	-0.13133	-0.13525	-0.14618	-0.19169	-0.29485
1.5	-0.16386	-0.14898	-0.17353	-0.21043	-0.30761
1.51	-0.17251	-0.1683	-0.1918	-0.23634	-0.33622
1.52	-0.1793	-0.17098	-0.19294	-0.24138	-0.33675
1.53	-0.18058	-0.17559	-0.19652	-0.24987	-0.34174
1.54	-0.18791	-0.18358	-0.20231	-0.26237	-0.3623
1.55	-0.22222	-0.2136	-0.23911	-0.29659	-0.39389
1.56	-0.23316	-0.23001	-0.24875	-0.30936	-0.40293
1.57	-0.26468	-0.27181	-0.26464	-0.33774	-0.4249
1.58	-0.26004	-0.24985	-0.27737	-0.33135	-0.43322
1.59	-0.25031	-0.23981	-0.2622	-0.31891	-0.43544
1.6	-0.23811	-0.23527	-0.24824	-0.31537	-0.43003
1.61	-0.23281	-0.22763	-0.24171	-0.30758	-0.43093
1.62	-0.22522	-0.21556	-0.22759	-0.29691	-0.4179
1.63	-0.203	-0.19532	-0.21069	-0.29297	-0.40853
1.64	-0.17876	-0.17354	-0.20435	-0.27069	-0.39649
1.65	-0.17963	-0.17702	-0.18849	-0.25397	-0.3723
1.66	-0.16371	-0.14815	-0.15872	-0.247	-0.36619
1.67	-0.14914	-0.14604	-0.15851	-0.24005	-0.37118
1.68	-0.1649	-0.15934	-0.17373	-0.25349	-0.39424
1.69	-0.18301	-0.17178	-0.19144	-0.27827	-0.41665
1.7	-0.19939	-0.19468	-0.20609	-0.29269	-0.44794
1.71	-0.21993	-0.21304	-0.23382	-0.32307	-0.47868
1.72	-0.24698	-0.23548	-0.26638	-0.36296	-0.50537
1.73	-0.26861	-0.26631	-0.28694	-0.38014	-0.51541
1.74	-0.29699	-0.28729	-0.30567	-0.4109	-0.53539
1.75	-0.31952	-0.31577	-0.33022	-0.43023	-0.56128
1.76	-0.33921	-0.33169	-0.3487	-0.44311	-0.58155
1.77	-0.34295	-0.33915	-0.35827	-0.45366	-0.58573
1.78	-0.34426	-0.33256	-0.35239	-0.45015	-0.5885
1.79	-0.3495	-0.34199	-0.35954	-0.44741	-0.58454
1.8	-0.33099	-0.31369	-0.34092	-0.43363	-0.57244

1.81	-0.31279	-0.30649	-0.32863	-0.42645	-0.56226
1.82	-0.29051	-0.288	-0.30925	-0.40984	-0.54151
1.83	-0.28556	-0.27815	-0.30319	-0.39849	-0.53484
1.84	-0.2763	-0.26071	-0.28967	-0.39084	-0.52028
1.85	-0.27816	-0.26422	-0.29396	-0.39547	-0.52593
1.86	-0.28273	-0.28186	-0.2997	-0.40062	-0.54349
1.87	-0.28834	-0.27465	-0.29817	-0.41165	-0.54846
1.88	-0.301	-0.29752	-0.31944	-0.43996	-0.56266
1.89	-0.32936	-0.3252	-0.35013	-0.45193	-0.59328
1.9	-0.34939	-0.34653	-0.37086	-0.49743	-0.61466
1.91	-0.38239	-0.37793	-0.39808	-0.52373	-0.64638
1.92	-0.41638	-0.41557	-0.43269	-0.56192	-0.68539
1.93	-0.45293	-0.4402	-0.46538	-0.59565	-0.72735
1.94	-0.4831	-0.4817	-0.49827	-0.63349	-0.76963
1.95	-0.50115	-0.50583	-0.51922	-0.65497	-0.78277
1.96	-0.512	-0.51626	-0.53403	-0.67312	-0.79292
1.97	-0.51795	-0.50857	-0.53807	-0.67681	-0.79338
1.98	-0.49824	-0.5055	-0.52125	-0.67253	-0.79592
1.99	-0.49957	-0.49391	-0.51155	-0.67168	-0.79192
2	-0.51907	-0.51032	-0.53003	-0.68877	-0.80939
2.01	-0.48241	-0.46904	-0.50022	-0.65425	-0.7743
2.02	-0.48809	-0.48728	-0.50841	-0.67473	-0.78979
2.03	-0.47722	-0.47179	-0.49412	-0.66274	-0.77842
2.04	-0.4741	-0.44928	-0.48064	-0.68194	-0.78993
2.05	-0.50745	-0.46763	-0.50847	-0.69755	-0.79713
2.06	-0.51322	-0.50471	-0.53427	-0.71045	-0.8083
2.07	-0.55426	-0.53213	-0.56867	-0.76165	-0.85777
2.08	-0.58055	-0.55539	-0.58566	-0.79854	-0.90287
2.09	-0.61971	-0.57605	-0.62867	-0.84049	-0.95307
2.1	-0.67975	-0.63884	-0.68554	-0.90424	-1.02355
2.11	-0.72757	-0.69347	-0.73461	-0.96773	-1.08772
2.12	-0.80083	-0.78119	-0.80871	-1.03783	-1.13352
2.13	-0.85467	-0.78867	-0.85798	-1.09409	-1.18934
2.14	-0.90746	-0.82851	-0.8858	-1.14034	-1.25285
2.15	-0.93563	-0.85623	-0.92402	-1.17326	-1.28601
2.16	-0.9715	-0.89313	-0.95243	-1.21248	-1.32974
2.17	-0.97192	-0.88922	-0.94868	-1.21858	-1.32949
2.18	-1.01493	-0.90144	-0.99224	-1.25204	-1.34949
2.19	-1.06124	-0.92214	-1.01923	-1.29733	-1.4124
2.2	-1.09818	-0.96296	-1.05575	-1.3206	-1.42633
2.21	-1.13513	-0.99528	-1.08262	-1.37663	-1.50399
2.22	-1.2144	-1.04403	-1.15885	-1.44583	-1.57777

2.23	-1.30441	-1.11079	-1.23682	-1.53828	-1.67016
2.24	-1.45238	-1.2107	-1.35742	-1.67194	-1.7979
2.25	-1.61137	-1.32642	-1.48679	-1.8184	-1.96621
2.26	-1.82177	-1.48621	-1.66806	-2.00027	-2.14447
2.27	-2.03725	-1.67427	-1.87916	-2.23099	-2.3934
2.28	-2.36775	-1.90848	-2.13794	-2.4812	-2.68218
2.29	-2.72754	-2.19251	-2.44373	-2.80854	-3.03886
2.3	-3.14258	-2.50693	-2.82466	-3.17124	-3.43336
2.31	-3.68689	-2.91932	-3.28643	-3.61946	-3.8846
2.32	-4.3085	-3.39189	-3.8155	-4.12066	-4.42802
2.33	-5.07347	-3.95802	-4.43742	-4.70545	-5.04716
2.34	-6.03795	-4.65793	-5.255	-5.42319	-5.84521
2.35	-7.38758	-5.62266	-6.39249	-6.39723	-6.84251
2.36	-9.20135	-6.88464	-7.90426	-7.63356	-8.14453
2.37	-11.8378	-8.64963	-10.0631	-9.30885	-9.92803
2.38	-15.9998	-11.2761	-13.3714	-11.7459	-12.49983
2.39	-21.7511	-15.354	-18.9724	-15.5389	-16.32755
2.4	-18.0735	-19.2885	-21.0416	-21.1059	-20.32521
2.41	-12.824	-15.6063	-14.6046	-19.5971	-17.29706
2.42	-9.50313	-11.2495	-10.4877	-14.1528	-12.81706
2.43	-7.32214	-8.37423	-7.89205	-10.6406	-9.79916
2.44	-5.76574	-6.44433	-6.13833	-8.2849	-7.66003
2.45	-4.66384	-5.09943	-4.88437	-6.6481	-6.13927
2.46	-3.84917	-4.13466	-4.00045	-5.44009	-5.02729
2.47	-3.21835	-3.39695	-3.31574	-4.53874	-4.18573
2.48	-2.72944	-2.90065	-2.781	-3.85597	-3.56358
2.49	-2.38086	-2.49781	-2.45052	-3.35608	-3.07227
2.5	-2.11511	-2.21807	-2.16858	-2.99476	-2.71266
2.51	-1.88872	-1.96921	-1.93495	-2.68086	-2.40703
2.52	-1.72589	-1.7961	-1.76612	-2.4627	-2.18928
2.53	-1.56329	-1.64099	-1.62359	-2.26594	-1.97027
2.54	-1.46363	-1.51729	-1.50327	-2.13044	-1.81921
2.55	-1.36467	-1.40966	-1.39943	-2.01741	-1.65746
2.56	-1.26878	-1.32018	-1.30575	-1.94437	-1.54115
2.57	-1.16381	-1.2146	-1.20176	-1.88485	-1.41496
2.58	-1.05033	-1.11027	-1.09356	-1.82377	-1.29381
2.59	-0.9619	-1.02454	-1.00699	-1.78107	-1.1708
2.6	-0.89546	-0.95272	-0.93166	-1.76036	-1.08177
2.61	-0.79731	-0.85845	-0.84397	-1.68535	-0.9672
2.62	-0.7206	-0.79158	-0.79386	-1.61708	-0.90862
2.63	-0.68423	-0.74185	-0.72926	-1.47683	-0.83069
2.64	-0.63231	-0.69797	-0.6824	-1.32963	-0.77733

2.65	-0.59701	-0.67471	-0.65279	-1.18358	-0.74522
2.66	-0.58523	-0.65756	-0.64199	-1.07106	-0.72724
2.67	-0.58368	-0.64851	-0.64844	-0.97772	-0.71539
2.68	-0.59671	-0.67349	-0.66509	-0.91031	-0.73517
2.69	-0.59448	-0.68363	-0.66688	-0.86772	-0.74818
2.7	-0.61541	-0.71052	-0.68282	-0.84073	-0.75849
2.71	-0.63688	-0.72902	-0.71513	-0.81172	-0.78155
2.72	-0.65575	-0.76039	-0.73932	-0.80895	-0.80731
2.73	-0.68073	-0.77714	-0.76227	-0.79471	-0.82971
2.74	-0.67884	-0.7744	-0.74629	-0.76458	-0.83191
2.75	-0.70551	-0.79904	-0.77061	-0.75673	-0.85474
2.76	-0.66986	-0.78774	-0.74188	-0.70676	-0.83216
2.77	-0.63626	-0.7669	-0.72056	-0.65811	-0.8048
2.78	-0.64834	-0.79269	-0.72768	-0.60742	-0.83026
2.79	-0.62698	-0.82129	-0.72195	-0.57278	-0.79614
2.8	-0.62472	-0.87157	-0.75774	-0.53299	-0.74483
2.81	-0.59098	-0.94286	-0.76287	-0.46474	-0.66365
2.82	-0.55992	-1.02764	-0.81443	-0.45898	-0.62479
2.83	-0.50159	-1.00448	-0.78843	-0.43566	-0.56369
2.84	-0.47845	-0.92431	-0.75139	-0.435	-0.55742
2.85	-0.43287	-0.79086	-0.67091	-0.41317	-0.53971
2.86	-0.41154	-0.70763	-0.65719	-0.42177	-0.51722
2.87	-0.42127	-0.65763	-0.60622	-0.44306	-0.54932
2.88	-0.45207	-0.64952	-0.60501	-0.47344	-0.58165
2.89	-0.47446	-0.63418	-0.61668	-0.50252	-0.60685
2.9	-0.49729	-0.64713	-0.62653	-0.53129	-0.63451
2.91	-0.52213	-0.64611	-0.63406	-0.54705	-0.63442
2.92	-0.51677	-0.63806	-0.64881	-0.57185	-0.64823
2.93	-0.5263	-0.62705	-0.64202	-0.5624	-0.64207
2.94	-0.53446	-0.62912	-0.61568	-0.57742	-0.64189
2.95	-0.48974	-0.59213	-0.59072	-0.53033	-0.58527
2.96	-0.44295	-0.55648	-0.56151	-0.51087	-0.55998
2.97	-0.42062	-0.51875	-0.51693	-0.48123	-0.518
2.98	-0.3967	-0.49929	-0.50066	-0.47426	-0.49788
2.99	-0.36206	-0.46041	-0.45364	-0.44811	-0.45956
3	-0.34568	-0.42028	-0.44393	-0.4221	-0.42406

DATA PENGUKURAN RETURN LOSS S21 ANTENA KANAN

freq	S21aKANAN	S21bKANAN	S21cKANAN	S21dKANAN	S21eKANAN
1	-47.9789	-41.9272	-43.1771	-43.4734	-45.003
1.01	-47.8752	-42.8872	-43.9897	-46.8004	-46.9608
1.02	-47.3125	-45.6377	-46.2696	-48.248	-57.4482
1.03	-47.6448	-47.2198	-47.8882	-48.7629	-55.9243
1.04	-49.5453	-49.6661	-50.3194	-51.1832	-50.813
1.05	-50.918	-51.7285	-51.4298	-53.253	-50.3568
1.06	-51.9102	-52.236	-51.5722	-53.0929	-50.8026
1.07	-52.5813	-52.0707	-51.1317	-52.4443	-51.5372
1.08	-52.9932	-51.4727	-50.5115	-51.5653	-51.9534
1.09	-53.2156	-51.3638	-50.365	-51.2459	-52.0555
1.1	-54.0375	-51.7974	-50.7725	-51.5084	-51.7854
1.11	-55.0027	-52.5625	-51.4401	-52.0508	-51.9868
1.12	-55.1064	-53.227	-51.7661	-52.0996	-52.2387
1.13	-55.2218	-53.6191	-52.1152	-52.3558	-52.5373
1.14	-54.9756	-54.5941	-52.8768	-52.9783	-52.4954
1.15	-54.4675	-55.4015	-53.935	-53.5408	-52.3903
1.16	-53.7144	-55.8422	-54.1009	-53.6024	-52.5787
1.17	-53.3672	-55.5666	-53.942	-53.2731	-52.8553
1.18	-53.1233	-55.2754	-53.6236	-53.0974	-53.0718
1.19	-52.5242	-54.7986	-53.5253	-53.0213	-53.1267
1.2	-51.7421	-53.9268	-52.9797	-52.4811	-52.7335
1.21	-51.0779	-52.8846	-52.2211	-51.7784	-52.1663
1.22	-50.4379	-51.9887	-51.6434	-51.157	-51.6246
1.23	-49.4801	-50.8854	-50.8697	-50.5332	-51.1493
1.24	-48.4831	-49.9566	-50.0204	-49.7452	-50.6658
1.25	-47.9662	-49.1314	-49.3173	-49.0895	-50.0054
1.26	-47.6584	-48.5778	-48.9823	-48.7561	-49.6171
1.27	-47.5692	-48.4017	-48.7058	-48.53	-49.8059
1.28	-47.9914	-48.7932	-49.1063	-48.9487	-50.0861
1.29	-48.1978	-49.1586	-49.5093	-49.2535	-50.3208
1.3	-48.1011	-49.1008	-49.4797	-49.0557	-50.2792
1.31	-47.8926	-48.71	-49.3453	-48.8469	-50.4694
1.32	-47.7318	-48.475	-49.0082	-48.4639	-50.4102
1.33	-47.6339	-48.4276	-48.9746	-48.354	-50.6559
1.34	-47.5503	-48.4459	-48.9416	-48.0941	-50.6857
1.35	-47.5626	-48.5106	-49.2226	-48.1117	-50.3621
1.36	-47.7487	-48.6885	-49.4686	-48.1992	-50.0216
1.37	-48.0482	-48.7534	-49.5699	-48.1691	-49.9217
1.38	-48.3295	-48.8111	-49.2645	-48.009	-49.9875

1.39	-48.7319	-48.8719	-49.2966	-47.9911	-49.9804
1.4	-48.5792	-48.5719	-48.8011	-47.502	-49.6449
1.41	-48.2089	-48.0994	-48.2998	-47.0968	-49.7763
1.42	-48.1074	-48.0592	-48.1921	-46.9388	-49.9523
1.43	-48.0927	-48.16	-48.2152	-46.9687	-50.2178
1.44	-48.4721	-48.5738	-48.5846	-47.3103	-50.257
1.45	-48.4326	-48.5866	-48.5441	-47.1578	-50.3917
1.46	-48.2937	-48.4248	-48.2668	-46.8692	-50.3458
1.47	-47.9986	-48.1797	-48.04	-46.6405	-50.1808
1.48	-47.822	-48.191	-48.0363	-46.5113	-49.8594
1.49	-48.0841	-48.8452	-48.6538	-46.9256	-49.4013
1.5	-48.2353	-49.2834	-48.995	-47.0539	-49.3526
1.51	-48.5636	-49.434	-49.1493	-47.2496	-49.7935
1.52	-49.0697	-49.6515	-49.378	-47.5837	-50.4875
1.53	-49.5682	-50.0865	-49.7329	-48.0015	-51.2118
1.54	-50.4973	-50.8242	-50.7045	-48.9203	-51.9318
1.55	-51.0187	-51.3328	-51.3721	-49.5532	-52.6703
1.56	-51.0297	-51.5001	-51.8576	-50.1617	-53.0702
1.57	-50.7862	-51.2264	-51.7481	-50.3324	-53.1386
1.58	-50.1611	-50.606	-51.4603	-50.1639	-52.5062
1.59	-49.6305	-50.0267	-50.9111	-49.9623	-51.7068
1.6	-49.0295	-49.5937	-50.5366	-49.714	-51.2304
1.61	-48.7555	-49.2155	-50.1943	-49.7677	-50.9855
1.62	-48.8383	-49.516	-50.6853	-50.4925	-50.7641
1.63	-49.0369	-49.6641	-51.0287	-51.0901	-50.3678
1.64	-49.0275	-49.3793	-51.1383	-51.359	-50.242
1.65	-48.8777	-49.2482	-50.8057	-51.2072	-50.0867
1.66	-48.9704	-49.2698	-50.6904	-51.279	-50.184
1.67	-48.9001	-49.3673	-50.7381	-51.5945	-50.445
1.68	-49.2212	-49.6377	-51.0291	-51.811	-50.802
1.69	-49.6864	-49.9465	-51.4685	-52.4592	-51.2852
1.7	-49.8678	-50.0514	-51.3528	-52.5671	-51.2853
1.71	-49.791	-49.8121	-50.8946	-51.9834	-51.7335
1.72	-49.5063	-49.6189	-50.5819	-51.9524	-52.003
1.73	-49.4466	-49.6833	-50.5478	-52.0467	-52.404
1.74	-49.6646	-49.8483	-50.5524	-52.4708	-52.8777
1.75	-49.7168	-49.855	-50.3498	-52.3472	-52.6625
1.76	-49.746	-49.7463	-49.9054	-51.5553	-52.6379
1.77	-49.6582	-49.4375	-49.4307	-51.0039	-52.9194
1.78	-50.0483	-49.8595	-50.0145	-51.4209	-53.6492
1.79	-50.7237	-50.7416	-50.6852	-52.3548	-54.9167
1.8	-51.0757	-51.4422	-51.0835	-52.6874	-56.2979

1.81	-51.5342	-51.9462	-51.3383	-52.6191	-57.119
1.82	-51.8707	-52.5438	-52.0246	-53.1753	-57.8513
1.83	-52.1292	-53.0919	-52.583	-53.7513	-58.1039
1.84	-52.3136	-53.325	-52.2119	-53.4848	-57.2249
1.85	-52.515	-52.9286	-51.9282	-52.7843	-56.367
1.86	-52.834	-52.8891	-51.8515	-52.646	-55.004
1.87	-53.1927	-53.1437	-52.1211	-53.0619	-56.1278
1.88	-53.5268	-53.9341	-52.717	-53.7662	-55.4206
1.89	-54.1957	-55.0478	-53.5761	-54.835	-55.6526
1.9	-55.6001	-56.8138	-54.8555	-56.0465	-55.8635
1.91	-56.4181	-57.3287	-55.1231	-56.807	-55.604
1.92	-56.5889	-57.1439	-55.5201	-57.4219	-56.1135
1.93	-55.1075	-57.3558	-55.7452	-57.8889	-56.4687
1.94	-57.1474	-57.6527	-56.5229	-58.3107	-56.1734
1.95	-58.2838	-58.1025	-56.7035	-59.209	-56.9523
1.96	-58.8057	-58.1282	-57.3048	-60.3979	-57.0859
1.97	-58.4197	-57.3175	-57.1374	-60.6297	-56.7906
1.98	-58.3292	-57.2268	-57.14	-60.7464	-57.3028
1.99	-58.996	-57.626	-58.2326	-63.3091	-58.332
2	-60.0868	-58.4145	-59.3344	-66.7877	-59.3524
2.01	-58.8702	-56.9844	-59.04	-66.1174	-58.8341
2.02	-56.8569	-55.3606	-58.0988	-64.4694	-58.0926
2.03	-56.6505	-55.2844	-58.2381	-66.1753	-57.3713
2.04	-56.6996	-55.8585	-58.3134	-68.4217	-57.8411
2.05	-56.8482	-55.8036	-58.0809	-68.3944	-59.5478
2.06	-57.2568	-56.123	-58.5698	-66.4768	-60.3339
2.07	-56.6299	-55.3578	-57.0592	-62.3723	-59.485
2.08	-55.2437	-54.5449	-56.4169	-62.074	-58.8214
2.09	-54.2957	-54.4779	-55.7252	-61.7117	-58.1158
2.1	-53.6519	-54.1369	-54.7996	-60.983	-57.887
2.11	-53.4807	-54.1057	-55.3092	-62.0463	-57.724
2.12	-53.2538	-54.5026	-55.441	-59.6492	-58.4997
2.13	-52.8618	-54.3273	-54.8081	-57.4032	-58.6542
2.14	-52.0502	-53.8982	-54.0951	-57.3938	-58.2898
2.15	-51.5873	-53.6312	-53.474	-56.9386	-58.4248
2.16	-51.2928	-53.2255	-52.7717	-56.9024	-58.0721
2.17	-51.536	-53.8506	-53.4834	-57.1546	-60.6736
2.18	-52.5205	-55.0538	-54.7198	-56.9867	-66.0017
2.19	-52.901	-54.9685	-54.5675	-55.4986	-66.5931
2.2	-51.8053	-53.1525	-52.6597	-53.5346	-57.6395
2.21	-50.7709	-52.7751	-51.6354	-53.2592	-53.4499
2.22	-51.23	-53.5249	-51.7091	-52.2554	-52.6218

2.23	-50.9572	-52.1635	-50.0222	-50.259	-51.8432
2.24	-51.1067	-50.3657	-49.1955	-48.6668	-51.5438
2.25	-49.1856	-47.3119	-47.1777	-47.0576	-50.9736
2.26	-48.3718	-45.4758	-45.6768	-46.1745	-49.5301
2.27	-48.2858	-44.5953	-45.4006	-45.6346	-48.3386
2.28	-48.2255	-44.08	-46.1885	-44.3208	-47.1752
2.29	-46.0939	-42.1354	-44.8754	-42.7804	-47.0709
2.3	-44.2652	-40.7544	-43.9724	-41.736	-45.8381
2.31	-42.4478	-39.6009	-42.8638	-40.9305	-43.6874
2.32	-41.4632	-38.7366	-42.2388	-40.3753	-42.2533
2.33	-40.0718	-38.0236	-41.9416	-39.8796	-41.3656
2.34	-39.0161	-37.624	-41.3264	-38.9931	-41.0095
2.35	-37.9718	-36.9574	-39.735	-37.9375	-40.5763
2.36	-37.2874	-36.5352	-38.4784	-36.6731	-39.5378
2.37	-35.5677	-35.6009	-36.7803	-35.7321	-38.9061
2.38	-34.4799	-35.1808	-35.9407	-35.4373	-38.6225
2.39	-34.0305	-35.3082	-35.6357	-35.5562	-38.9415
2.4	-34.5985	-36.1223	-36.1175	-35.8863	-39.2716
2.41	-35.4726	-37.4506	-36.7415	-36.3535	-39.3144
2.42	-36.3073	-38.5443	-37.6126	-37.0854	-39.767
2.43	-36.8947	-38.5869	-38.0065	-37.8621	-41.3941
2.44	-37.6353	-39.0655	-38.8685	-38.8182	-42.8094
2.45	-38.6778	-39.8567	-39.8168	-39.9003	-44.0344
2.46	-40.599	-41.438	-41.6671	-41.4272	-45.0634
2.47	-42.3495	-43.5	-43.4296	-43.0901	-46.0088
2.48	-43.8652	-45.255	-44.8713	-44.5765	-47.5676
2.49	-45.3948	-46.7883	-46.1984	-46.2961	-49.1625
2.5	-46.4978	-47.9471	-47.4211	-47.7717	-51.3068
2.51	-46.8992	-48.6509	-47.9562	-48.6462	-52.1303
2.52	-46.8866	-48.8066	-48.0555	-49.6741	-52.3644
2.53	-47.1143	-49.5582	-48.6376	-51.151	-52.6406
2.54	-48.7348	-50.715	-50.0955	-53.8435	-55.0218
2.55	-50.6129	-53.1793	-52.3601	-55.9097	-59.1945
2.56	-52.8209	-55.8282	-54.5803	-55.1805	-60.8361
2.57	-54.0991	-56.8955	-55.2113	-53.83	-59.6788
2.58	-54.9406	-57.3463	-55.8172	-53.0889	-58.9142
2.59	-55.4171	-58.018	-56.3054	-52.4916	-59.9408
2.6	-56.5732	-59.1266	-57.6789	-52.2207	-61.6046
2.61	-58.0367	-61.2161	-60.0285	-52.2443	-63.8685
2.62	-59.7596	-64.1444	-62.6984	-52.5334	-68.0471
2.63	-61.3433	-67.7883	-64.4752	-52.895	-74.9112
2.64	-61.8126	-68.118	-64.3832	-52.7966	-84.0059

2.65	-62.2668	-68.1057	-65.221	-53.0099	-80.3255
2.66	-63.7267	-69.5543	-65.4133	-53.1991	-88.5989
2.67	-64.511	-73.8049	-67.386	-53.8513	-79.8948
2.68	-65.6351	-75.6726	-69.1652	-54.2254	-75.3148
2.69	-66.4387	-72.6894	-70.1323	-54.9959	-74.0046
2.7	-67.4566	-72.1986	-73.3644	-56.3749	-72.1019
2.71	-68.4376	-72.6489	-73.5746	-57.5364	-70.587
2.72	-69.483	-71.2514	-77.6225	-59.1874	-70.9712
2.73	-69.2093	-68.9035	-75.025	-59.7229	-70.1265
2.74	-69.9623	-67.421	-74.8122	-60.1836	-70.4734
2.75	-69.8816	-65.9909	-71.234	-60.1757	-73.7107
2.76	-70.3418	-63.5024	-67.6904	-60.472	-77.7748
2.77	-67.3272	-60.6895	-64.3382	-60.9008	-70.6108
2.78	-64.1081	-58.3754	-61.6861	-61.4839	-65.9284
2.79	-62.0919	-56.7896	-59.5078	-62.3761	-62.5441
2.8	-60.5804	-55.6281	-59.2093	-62.737	-62.502
2.81	-60.9039	-55.1766	-58.7967	-63.5699	-63.5279
2.82	-61.6149	-55.4843	-59.1181	-64.7057	-64.7585
2.83	-63.1874	-56.6082	-60.2878	-66.2079	-65.7638
2.84	-65.5074	-58.5451	-62.6894	-67.2877	-67.7424
2.85	-67.7326	-60.4416	-64.6058	-68.9586	-68.9936
2.86	-68.3462	-62.4295	-66.206	-70.0113	-70.7695
2.87	-70.4818	-64.6261	-68.531	-69.7347	-71.5684
2.88	-71.2846	-66.5102	-71.3094	-71.1482	-71.7746
2.89	-73.3917	-68.7005	-74.2874	-71.733	-71.5007
2.9	-75.2865	-70.8295	-74.1653	-71.8442	-71.7769
2.91	-75.1707	-72.308	-77.823	-72.596	-72.4585
2.92	-76.8585	-72.3115	-75.4743	-71.2847	-70.2923
2.93	-74.5195	-73.9669	-77.3736	-71.1969	-71.1978
2.94	-74.5074	-75.0371	-73.9896	-71.4471	-71.3994
2.95	-75.0163	-74.7708	-75.2669	-72.6167	-71.1291
2.96	-77.2228	-74.5788	-75.7649	-69.9381	-71.3074
2.97	-74.4701	-74.9192	-76.8285	-70.6319	-71.8176
2.98	-75.8676	-72.2864	-75.4446	-69.8561	-70.4703
2.99	-75.7584	-72.3707	-75.8464	-69.7133	-70.1586
3	-76.604	-72.0692	-72.9931	-69.1119	-70.762

DATA SIMULASI DAN PENGUKURAN POLA RADIASI BIDANG H

Derajat	ANTENA KIRI BID. HORIZONTAL		ANTENA KANAN BID. HORIZONTAL	
	Simulasi	Pengukuran	Simulasi	Pengukuran
0	-38.30327	-38.3	-38.30328	-40.04
5	-38.34397	-38.34	-38.37421	-39.43
10	-38.49822	-38.23	-38.55258	-39.73
15	-38.764	-38.68	-38.8331	-39.61
20	-39.13475	-39.82	-39.21078	-40.41
25	-39.59945	-39	-39.68136	-41.77
30	-40.14357	-40.8	-40.24108	-41.89
35	-40.75111	-40.88	-40.8857	-42.6
40	-41.4066	-41.45	-41.60933	-41.73
45	-42.09704	-42.94	-42.4036	-42.86
50	-42.81308	-43.63	-43.2574	-44.63
55	-43.5486	-44.26	-44.15727	-45.73
60	-44.30032	-45.61	-45.08918	-45.79
65	-45.06588	-45.26	-46.0402	-47.44
70	-45.8425	-46.22	-47.00084	-49.39
75	-46.62587	-48.36	-47.96666	-50.21
80	-47.40926	-48.27	-48.93864	-50.32
85	-48.18295	-49.53	-49.92106	-50.6
90	-48.93364	-49.59	-50.91578	-51.74
95	-49.6439	-51.45	-51.91039	-53.92
100	-50.2919	-52.63	-52.85723	-57.13
105	-50.852	-52.48	-53.64477	-56.57
110	-51.29693	-53.54	-54.08864	-57.11
115	-51.60209	-53.73	-54.00702	-56.51
120	-51.751	-54.33	-53.3731	-56.95
125	-51.73955	-54.04	-52.35519	-54.88
130	-51.57635	-52.08	-51.18083	-53.8
135	-51.27908	-51.88	-50.01906	-50.82
140	-50.86919	-51.95	-48.96469	-48.78
145	-50.36849	-51.16	-48.06251	-48.6
150	-49.79917	-50.74	-47.33118	-47.05
155	-49.18572	-50.19	-46.77645	-46.57
160	-48.55657	-48.41	-46.39738	-48.37
165	-47.94341	-47.62	-46.1898	-48.36
170	-47.37886	-47.46	-46.14668	-46.66
175	-46.89331	-47.27	-46.25854	-46.48
180	-46.51295	-46.38	-46.51285	-47.2
185	-46.25855	-46.41	-46.89331	-46.94

190	-46.14668	-47.24	-47.37886	-47.63
195	-46.1898	-47.16	-47.9434	-48.39
200	-46.39738	-46.64	-48.55657	-48.77
205	-46.77645	-47.89	-49.18572	-48.73
210	-47.33119	-48.27	-49.79917	-48.84
215	-48.06251	-49.28	-50.36849	-50.34
220	-48.96469	-49.6	-50.86918	-53.22
225	-50.01906	-49.86	-51.27908	-51.54
230	-51.18084	-51.48	-51.57635	-52.5
235	-52.35519	-52.66	-51.73954	-52.84
240	-53.3731	-53.18	-51.751	-51.98
245	-54.00702	-53.91	-51.60209	-53.14
250	-54.08864	-55.77	-51.29693	-52.82
255	-53.64477	-55.6	-50.852	-51.3
260	-52.85723	-56.13	-50.2919	-51.17
265	-51.91039	-55.79	-49.6439	-49.88
270	-50.91578	-55.76	-48.93364	-49.52
275	-49.92106	-53.88	-48.18295	-49.88
280	-48.93864	-52.09	-47.40925	-48.12
285	-47.96666	-51.48	-46.62586	-46.71
290	-47.00084	-51.15	-45.8425	-47.39
295	-46.0402	-49.34	-45.06587	-45.83
300	-45.08918	-48.61	-44.30032	-45.4
305	-44.15727	-47.01	-43.5486	-44.72
310	-43.2574	-44.31	-42.81308	-44.16
315	-42.4036	-43.61	-42.09704	-44.25
320	-41.60933	-42.81	-41.4066	-41.86
325	-40.8857	-43.01	-40.75111	-41.38
330	-40.24108	-41.79	-40.14357	-41.39
335	-39.68136	-41.8	-39.59945	-41.45
340	-39.21078	-40.91	-39.13475	-40.2
345	-38.8331	-40.74	-38.764	-40.26
350	-38.55258	-39.95	-38.49822	-40.13
355	-38.37422	-39.63	-38.34397	-39.64
360	-38.30327	-38.3	-38.30328	-40.04

DATA SIMULASI DAN PENGUKURAN POLA RADIASI BIDANG E

Derajat	ANTENA KIRI BID. VERTIKAL		ANTENA KANAN BID. VERTIKAL	
	Simulasi	Pengukuran	Simulasi	Pengukuran
0	-36.30328	-38.2	-36.30328	-37.72
5	-36.33114	-37.52	-36.33114	-37.39
10	-36.4296	-37.06	-36.4296	-37.83
15	-36.59774	-38.58	-36.59774	-37.86
20	-36.83418	-38.08	-36.83418	-38.9
25	-37.13706	-39.16	-37.13706	-37.91
30	-37.50411	-37.76	-37.50411	-38.52
35	-37.93271	-38.23	-37.93271	-39.77
40	-38.41999	-39.05	-38.41999	-40.13
45	-38.9629	-39.16	-38.9629	-39.66
50	-39.55844	-39.8	-39.55844	-40.33
55	-40.20359	-41.26	-40.20359	-41.66
60	-40.89566	-41.54	-40.89566	-40.7
65	-41.63236	-41.32	-41.63236	-41.37
70	-42.41197	-42.48	-42.41197	-43.9
75	-43.23349	-42.75	-43.23349	-44.19
80	-44.09663	-44.55	-44.09663	-44.7
85	-45.00159	-44.13	-45.00159	-44.52
90	-45.94844	-47.51	-45.94844	-46.82
95	-46.93535	-46.82	-46.93535	-46.91
100	-47.95536	-48.05	-47.95536	-47.52
105	-48.98969	-48.13	-48.98969	-49.02
110	-49.99653	-49.74	-49.99653	-49.13
115	-50.8962	-50.82	-50.8962	-51.73
120	-51.56402	-49.86	-51.56402	-50.7
125	-51.85899	-50.08	-51.85899	-50.8
130	-51.70212	-50.63	-51.70212	-50.39
135	-51.14033	-51.68	-51.14033	-50.01
140	-50.31401	-51.99	-50.31401	-50.9
145	-49.37136	-51.17	-49.37136	-50.05
150	-48.41938	-50.55	-48.41938	-49.6
155	-47.52088	-50.45	-47.52088	-46.84
160	-46.70843	-49.3	-46.70843	-46.45
165	-45.99734	-47.48	-45.99734	-45.3
170	-45.39379	-46.56	-45.39379	-45.04
175	-44.89926	-46.45	-44.89926	-46.4
180	-44.51285	-46.24	-44.51285	-45.03
185	-44.23222	-45.59	-44.23222	-44.73

190	-44.05416	-45.2	-44.05416	-44.45
195	-43.97467	-46.13	-43.97467	-44.07
200	-43.9888	-45.83	-43.9888	-43.92
205	-44.09044	-46.61	-44.09044	-44.34
210	-44.2719	-46.39	-44.2719	-44.94
215	-44.52322	-46.41	-44.52322	-45.7
220	-44.83133	-47.8	-44.83133	-47.19
225	-45.17888	-47.18	-45.17888	-45.66
230	-45.543	-48.45	-45.543	-47.09
235	-45.89428	-49.83	-45.89428	-46.88
240	-46.19681	-49.97	-46.19681	-46.75
245	-46.41059	-50.04	-46.41059	-47.63
250	-46.49723	-49.81	-46.49723	-47.71
255	-46.42825	-50.55	-46.42825	-48.16
260	-46.19271	-51.4	-46.19271	-50.49
265	-45.79983	-51.5	-45.79983	-50.33
270	-45.2748	-50.68	-45.2748	-49.32
275	-44.65075	-49.16	-44.65075	-46.95
280	-43.96119	-45.6	-43.96119	-46.34
285	-43.2353	-45.77	-43.2353	-45.29
290	-42.49642	-42.83	-42.49642	-43.84
295	-41.76246	-41.23	-41.76246	-41.23
300	-41.04696	-40.12	-41.04696	-40.32
305	-40.36029	-39.77	-40.36029	-40.24
310	-39.71061	-38.66	-39.71061	-39.52
315	-39.10452	-38.3	-39.10452	-39.03
320	-38.54761	-38.51	-38.54761	-38.39
325	-38.04454	-36.95	-38.04454	-37.58
330	-37.59941	-36.8	-37.59941	-37.63
335	-37.21573	-37.93	-37.21573	-37.3
340	-36.89645	-36.66	-36.89645	-37.56
345	-36.64397	-36.09	-36.64397	-36.45
350	-36.46017	-36.85	-36.46017	-37.21
355	-36.34635	-36.83	-36.34635	-37.02
360	-36.30328	-38.2	-36.30328	-37.72

DAFTAR PUSTAKA

Biglieri, E. Calderbank, R. Constantinides, A. Goldsmith, A. Paulraj, A. Poor, H.V. (2007), *MIMO Wireless Communications*. Cambridge University Press. New York.

DeFlaviis, F. Jofre, L. Romeu, J. Grau, A. (2008), *Multiantena Systems for MIMO Communications*. Morgan and Claypool.

Edwards, T.C and Steer, M.B (2000), *Foundation of Interconnect and Mikrostrip Design*. Third Edition. John Wiley & Sons. New York

El Zooghby, A. (2005), *Smart Antena Engineering*. Artech House.

Gupta, H.K and Singhal, P.K. (2012), "Patch Antennas Designs with Defect Ground Structure in Efficient Rectenna Design for Wireles Power Transmission". *IJECCCT*, 2012, Vol. 2 (4).

Gupta, H.K. Gautem, B. Sinha, P. Soni, A. (2013), "Design of Very Low Return Loss, Rectangular Microstrip Patch Antenna for Cellular and Mobile Communication", *International Journal of Electronics and Electrical Engineering*, Vol. 1, No. 3.

Huang, Y and Boyle, K (2008), *Antenas From Theory To Practice*. John Wiley and Sons, Ltd. United Kingdom.

Jia-ren, R. Peng, Z. Becerra, D.R. (2012), "Mutual Coupling Effect of Mikrostrip Antena Array". *International Workshop on Information and Electronics Engineering (IWIEE)*, Procedia Engineering.

Mohajer, M. Rafi, G.Z, Safavi-Naeini, S (2009), "MIMO Antena Design and Optimization for Mobile Applications". *IEEE Antenas and Propagation Society International Symposium (APSURSI)*, North Chareturn lossesto.

Ozdemir, M.K. Arslan, H. Arvas, E. (2003), "Mutual Coupling Effect in Multi-antenna Wireless Communication Systems". *IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM)*. San Francisco.

Pozar, D.M. (2011), *Microwave Engineering, Fourth Edition*, John Wiley and Sons, New York.

Sibille, A. Oestges, C. Zanella, A. (2011), *MIMO From theory to Implementation*. Academic Press.

Tsoulos, G. (2006), *MIMO System Technology for Wireless Communications*. CRC Press. USA.

Volakis, J.L. (2007), *Antenna Engineering Handbook*. The McGraw-Hill Companies, New York.

Weng, L.H. Guo, Y.C. Shi, X.W. Chen, X.Q. (2008), "An Overview On Defected Ground Structure". *Progress In Electromagnetics Research B*, Vol. 7, 173-189.



BIOGRAFI PENULIS

Jeffri Parrangan dilahirkan di Nabire, 22 Mei 1988 dan merupakan anak ketiga dari lima bersaudara. Penulis memulai pendidikan di SDN Inpres Malompo (1994-2000), SMPN 4 Nabire (2000-2003), SMAN 1 Nabire (2003-2006), dan Pendidikan S1 di Jurusan Fisika FMIPA UNIPA (2006-2012). Melanjutkan studi S2 melalui program Beasiswa Pra S2 Saintek di Jurusan Fisika FMIPA ITS dengan bidang keahlian

Optoelektronika dan Medan Elektromagnetik Terapan.